



Whitepaper

Die Entwicklung der intelligenten Vermahlung

Die Entwicklung der intelligenten Vermahlung

Fortschritte bei Sensoren, digitale Integration und KI bringen die Vision einer vollständig autonomen, sich selbst optimierenden Vermahlung der Realität näher.

Das Mahlen von Getreide zu Mehl gehört zu den ältesten industriellen Verfahren. Über Jahrhunderte hinweg änderten sich die Grundlagen kaum: mechanische Kraft, die auf einen biologischen Rohstoff ausgeübt wird, geleitet von Erfahrung und fundiertem Fachwissen. In den letzten Jahrzehnten hat sich das Mahlen jedoch zu einem der technisch anspruchsvollsten Bereiche der Lebensmittelverarbeitung entwickelt. Moderne Mühlen sind größer, schneller, zuverlässiger und energieeffizienter als je zuvor.

Doch die Technisierung hat die Komplexität nicht beseitigt. Müller stehen weiterhin vor der Herausforderung, heterogene und naturbedingt schwankende Rohstoffe zu Endprodukten zu verarbeiten, die immer strengere Anforderungen an Qualität, Konsistenz und Lebensmittelsicherheit erfüllen. Dabei müssen sie die Ausbeute maximieren, den Energieverbrauch minimieren und die Lebensdauer teurer Maschinenanlagen verlängern. Alle drei Ziele gleichzeitig zu erreichen, bleibt schwierig, insbesondere beim Mahlen, da bereits geringfügige Änderungen einzelner Parameter überproportionale Auswirkungen auf nachgelagerte Prozesse und die funktionellen Eigenschaften des Mehls haben können.

Eine effektive Prozesssteuerung ist daher nach wie vor eine der entscheidenden Herausforderungen der modernen Müllerei.

Warum das Mahlen der entscheidende Hebel ist

Das Mahlen bildet das technische Herzstück des Müllereiprozesses. Es ist zudem einer der ressourcenintensivsten Produktionsschritte. In einer modernen Mühle macht die Vermahlung bis zu 40 Prozent des gesamten Energieverbrauchs aus, was sie zu einem vorrangigen Ziel für Effizienzsteigerungen macht.

Die Komplexität des Mahlprozesses erklärt sowohl seine Bedeutung als auch seine Schwierigkeit. Ein typischer Vermahlungsprozess umfasst vier bis fünf Schrotpassagen zum Aufbrechen der Getreidekörner sowie zehn bis zwölf anschließende Reduktionspassagen, in denen die Partikelgröße schrittweise verringert wird. Jede Passage bringt seine eigenen Variablen mit sich, darunter Walzenspalt, Drehzahlunterschied, Druck und thermisches Verhalten. Diese Variablen stehen in Wechselwirkung mit den Eigenschaften des Rohmaterials, die sich nicht nur von Charge zu Charge, sondern auch innerhalb einer einzelnen Produktion ändern.

Infolgedessen hängt die Mahlleistung von einer kontinuierlichen Feinabstimmung ab. In der Vergangenheit erfolgte diese Abstimmung manuell. Müller stützen sich auf Erfahrung, historisches Anlagenwissen und die direkte Beobachtung des Materialflusses und des Maschinenverhaltens. Dieser Ansatz ist zwar nach wie vor wirksam, unterliegt jedoch naturgemäß den Grenzen der menschlichen Wahrnehmung und der verfügbaren Fachkenntnisse.



Ein SmartRoll-Paar, das mit integrierten Temperaturmessstäben ausgestattet ist, bildet die Grundlage für intelligentes Mahlen.

Der Weg zur SmartMill

Bei Bühler verstehen wir die Einführung fortschrittlicher digitaler Technologien in der Vermahlung als kontinuierlichen Entwicklungsprozess und nicht als einmaligen Schritt. Das Endziel dieser Reise ist die SmartMill: ein vollautomatischer, sich selbst optimierender Betrieb, in dem Anlagen, Daten und Steuerungssysteme zusammenarbeiten, um die Leistung kontinuierlich zu verbessern. Diese Reise vollzieht sich in Stufen der Autonomie, von denen jede einen Mehrwert bietet:

- **Vernetzen:** Sensoren und Datennetzwerke erfassen Betriebsdaten und machen diese digital zugänglich
- **Überwachen:** Fortschrittliche Analysen wandeln Rohdaten in umsetzbare Erkenntnisse um und unterstützen so eine faktenbasierte Entscheidungsfindung
- **Unterstützen:** Automatisierung reduziert den Bedarf an menschlichem Eingreifen durch die Optimierung spezifischer Prozesse
- **Selbstoptimieren:** Mehrere Maschinen und Datenquellen werden integriert, um eine durchgängige, autonome Optimierung zu ermöglichen

SmartMill-Technologien decken die gesamte Mühle ab und beziehen alle damit verbundenen Prozesse mit ein. Dieser Artikel konzentriert sich speziell auf die Optimierung der Vermahlung.

Von Rezepturen zu Echtzeit-Einblicken

Viele moderne Mühlen nutzen bereits Automatisierungslösungen, um die Maschineneinstellungen zu vereinfachen und eine hohe Wiederholgenauigkeit zu gewährleisten. Rezeptbasierte Ansätze ermöglichen es dem Müller, vordefinierte Einstellungen auf verschiedene Prozesse anzuwenden, was eine Konfiguration per Knopfdruck für unterschiedliche Getreidesorten oder Kundenanforderungen ermöglicht. Diese Systeme tragen zur Standardisierung der Abläufe bei und verkürzen die Umrüstzeiten, beispielsweise bei Rezeptwechseln.

Rezepte legen zwar die vorgesehenen Parameter fest, bilden jedoch nicht die tatsächlichen Einstellungen ab. Die nächste Stufe der intelligenten Vermahlung schließt diese Lücke, indem sie in Echtzeit sichtbar macht, was im Walzenstuhl tatsächlich geschieht.

Fortschrittliche Sensortechnologien spielen dabei eine zentrale Rolle. Bühler leistet Pionierarbeit bei der Integration von Temperatur- und Vibrationssensoren in die Mahlwalzen. Diese innovativen Sensoren sind für einen präzisen, zuverlässigen Betrieb in anspruchsvollen industriellen Umgebungen ausgelegt. Ihre Position direkt an der Arbeitsfläche der Walze liefert beispiellose, kontinuierliche Rückmeldungen zum Maschinenzustand und zum Prozessverhalten.

Die Innentemperatur der Walze kann in Kombination mit Daten zur Walzendrehzahl genutzt werden, um Rückschlüsse auf den Mahl-Druck zu ziehen. Die Temperaturüberwachung unterstützt zudem das Wärmemanagement, indem sie bei Überschreitung vordefinierter Schwellenwerte Alarmer auslöst. Schwingungsmessungen liefern frühzeitige Hinweise auf mechanische Probleme, darunter Schäden an der Walzenoberfläche, Lagerverschleiß oder Motorprobleme.

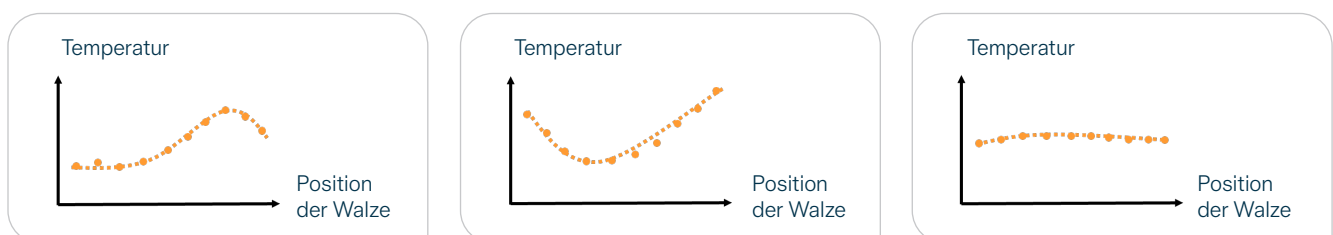
Die fortschrittlichsten Systeme gehen noch einen Schritt weiter, indem sie kritische Muster identifizieren, die eine frühzeitige Erkennung von Problemen im Prozess ermöglichen, wie z. B. ungleichmäßigen Mahldruck über die Walzenoberfläche, und so eine präzisere Diagnose und Anpassung unterstützen.

Daten mit KI in Entscheidungen umsetzen

Zwar erhöhen fortschrittliche Sensoren die Datenverfügbarkeit erheblich, doch verbessern Daten allein die Leistung nicht. Die Umsetzung hochfrequenter, mehrdimensionaler Daten in klare operative Maßnahmen bleibt eine Herausforderung.

Hier kann künstliche Intelligenz eine wichtige Rolle spielen. Durch die Kombination mehrerer Datenquellen, darunter Walzentemperaturprofile, Schwingungssignale, Energieverbrauch, Produktqualitätskennzahlen und Ausbeutedaten, können KI-Modelle darauf trainiert werden, Muster zu erkennen, die für Müller nicht sichtbar sind.

In Pilotanwendungen wurden solche Modelle eingesetzt, um Ungleichgewicht an Walzen zuverlässig zu erkennen und gezielte Anpassungen zu empfehlen, wie beispielsweise Änderungen des Mahlspaltes. In einem dokumentierten Fall reduzierten diese Empfehlungen den Energieverbrauch eines einzelnen Walzenpaares um bis zu 38 Prozent, während die Qualitätsparameter innerhalb des Zielbereichs gehalten wurden.



Walzentemperaturmuster liefern verborgene Erkenntnisse, die dazu beitragen, Über- und Untermahlung sowie einen beschleunigten Verschleiß der Anlagen zu verhindern.



Optimierte Walzenspaltanpassungen liefern durchwegs erhebliche Vorteile.

Frühe Anwendungsfälle konzentrieren sich in der Regel auf die energieintensivsten Mahlstufen, häufig die ersten drei Schrot- und Reduktionspassagen. Bei einem solchen Einsatz hat die KI-gestützte Mahloptimierung den Gesamtenergieverbrauch im Mahlbereich um 8 bis 10 Prozent gesenkt und gleichzeitig die Ausbeute und Produktqualität verbessert.

Diese Vorteile sind bereits rentabel. Einsparungen beim Energieverbrauch, bei den Arbeitskosten, durch reduzierten

Feuchtigkeitsverlust und eine geringere Häufigkeit der Walzensanierung bedeuten, dass sich SmartMill-Installationen in der Regel bereits nach ein bis zwei Jahren amortisieren.

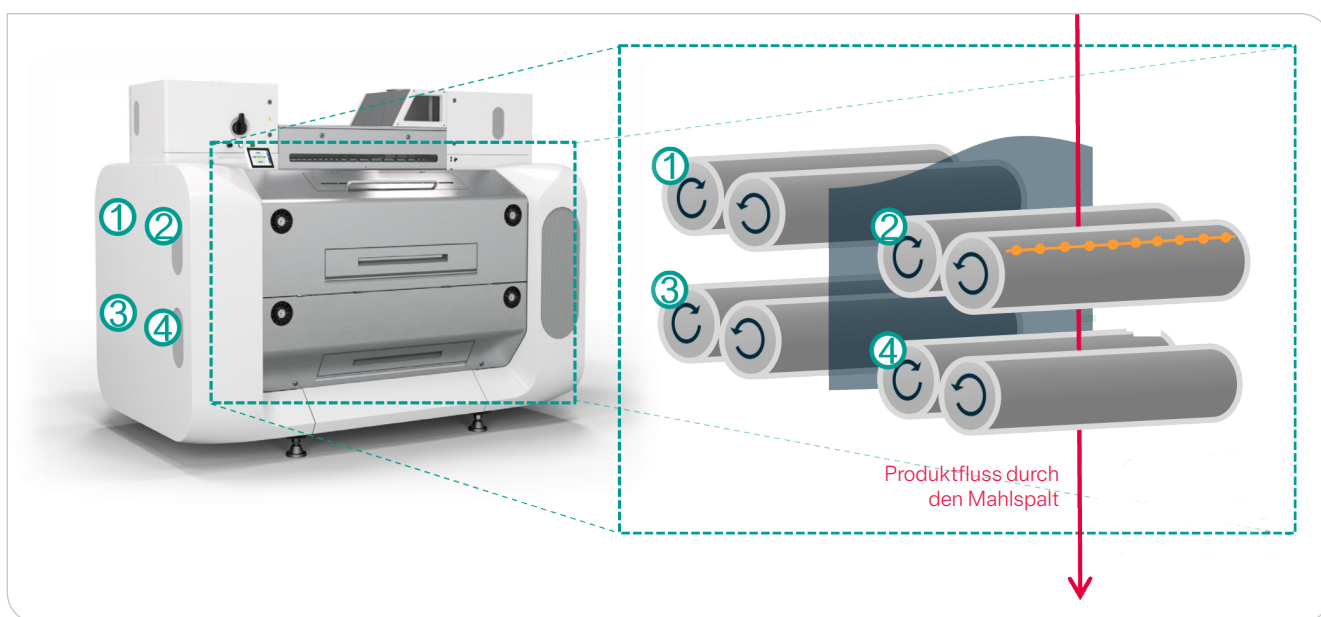
Bemerkenswert ist, dass erste Ergebnisse darauf hindeuten, dass dieselben KI-Modelle ohne umfangreiches Umlernen in verschiedenen Mühlen effektiv eingesetzt werden können, was auf eine für den skalierbaren Einsatz entscheidende Generalisierbarkeit hindeutet. Seit 2026 setzen rund ein halbes Dutzend Pilotmühlen das Grinding Optimizer-System von Bühler ein, noch bevor die für später in diesem Jahr geplante breitere Produkteinführung erfolgt.

Von der Empfehlung zur Autonomie

Derzeit arbeitet der Grinding Optimizer im Beratungsmodus. Er generiert Empfehlungen in Echtzeit, doch die Mühlenbetreiber behalten die Entscheidungshoheit: Sie prüfen diese Empfehlungen und entscheiden, ob die vorgeschlagenen Anpassungen umgesetzt werden sollen.

Das Ziel ist vollständige Autonomie. Aus technischer Sicht ist dieser Übergang relativ unkompliziert. Viele moderne Mühlen verfügen bereits über die für eine Regelung in einem geschlossenen Regelkreis erforderliche Automatisierungsinfrastruktur. Die größere Herausforderung ist organisatorischer und kultureller Natur. Ein autonomer Betrieb erfordert Vertrauen in Algorithmen, Klarheit hinsichtlich der Verantwortlichkeiten und neue Betriebsmodelle für das Mühlenpersonal.

Wenn das Vertrauen durch konsequente Leistungsverbesserungen und eine transparente Entscheidungslogik wächst, wird dieser Wandel realisierbar.



Mühlen der neuen Generation, Sensortechnologien, Algorithmen für maschinelles Lernen und moderne Anlagensteuerungssysteme bieten alles, was für eine autonome Vermahlung erforderlich ist.



Bediener und Mühlenleiter werden bald über ein Tool verfügen, das sie rund um die Uhr bei der Bewältigung ihrer täglichen Aufgaben unterstützt.

Ausblick

Zukünftige Entwicklungen im Bereich der intelligenten Vermahlung werden über die derzeitigen Anwendungen hinausgehen. Zusätzliche Datenquellen, fortschrittlichere KI-Modelle und die Integration verschiedener Prozesse in der Mühle werden das Optimierungspotenzial weiter steigern. Wir gehen davon aus, dass sich das Mahlen im Laufe der Zeit von einem mechanisch begrenzten Prozess zu einem digital gesteuerten System entwickeln wird, das sich kontinuierlich an Schwankungen im Rohmaterial, an Endproduktspezifikationen und an kommerzielle Ziele anpasst.

Für Mühlenbetreiber ist die Konsequenz klar. Wettbewerbsvorteile werden zunehmend nicht nur von der Qualität der Anlagen abhängen, sondern auch von der Fähigkeit, Daten in großem Maßstab zu erfassen, zu interpretieren und darauf zu reagieren. Die Vermahlung, lange Zeit als ausgereifter Prozess angesehen, wird zu einem Schwerpunkt für digitale Innovation.

Steigern Sie Ihren Gewinn durch die Optimierung von Energieverbrauch, Ausbeute und Produktqualität.

Benötigen Sie weitere Informationen zum Grinding Optimizer?

Kontaktieren Sie uns:
milling@buhlergroup.com



Juste Hahne
Senior Product Manager



Valerie Brunner
Product Manager



Bühler AG

Milling Solutions
CH-9240 Uzwil
Schweiz

buhlergroup.com
milling@buhlergroup.com

BUZ MS Smart Grinding Whitepaper DE 0526 Z&B 261855