



WHITEPAPER

WALZENANTRIEB

WALZENVERMAHLUNG ALS QUANTENSPRUNG

Die Zerkleinerung von Getreidekörnern wurde seit jeher durch Druck und Scherung vollzogen. Vor etwa 27.000 Jahren wurden zum ersten Mal Mahlsteine für deren Zerkleinerung verwendet. Mittels einer oszillierenden Bewegung des Mahlsteins gegenüber einer Gegenfläche konnten die dazwischenliegenden Getreidekörner beansprucht werden.

Bei vielen nachfolgenden Entwicklungen wurde das Prinzip beibehalten, dass eine Mahfläche ortsfest und eine relativ dazu in Bewegung gehalten wird. Beispielsweise durch ein horizontales oder vertikales Scheibenpaar, einen Konus mit Gegenstück oder eine Walze mit angrenzender Gegenfläche. Dabei führt die ortsfeste Gegenfläche keine Leistung aus, da sie zwar Kräfte aufnimmt, aber keinen Weg macht. Dies änderte sich mit der Entwicklung der Walzenvermahlung im 18. Jahrhundert.



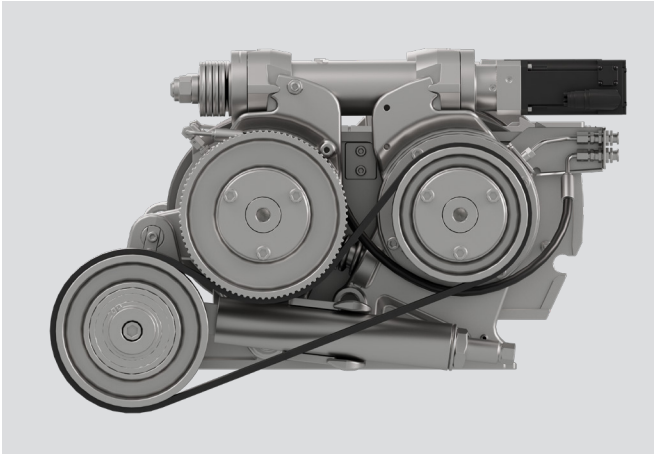
Die handbetriebene Drehmühle entstand im iberokeltischen Raum. In einer keltischen Höhensiedlung aus dem 7. Jahrhundert v. Chr. fand man Mühlsteine mit Fragmenten von Dinkel, Emmer und Gerste.

Bei modernen Walzenstühlen wie SWISCA's ROMIL werden die Stabilität und Präzision des Mahlspalts durch eine servogesteuerte Mahlspalteinstellung und ein robustes Walzenpaket gewährleistet. Bedient wird auch heute noch von Hand, allerdings über einen Touch-Screen und ein elektronisches Handrad.



Das Mitbewegen der bisher ortsfesten Gegenfläche brachte mehrere Vorteile. Mit der Ausführung als zwei parallele, gegenläufige Walzen mit ihren jeweiligen Drehzahlen konnten Druck und Scherung als maßgebende Einflussgrößen gezielt und voneinander unabhängig vorgegeben werden. Es waren zum Beispiel eine Durchsatzsteigerung und eine erwünschte selektive Vermahlung möglich. Dank vielen weiteren Parametern wurden mehrstufige, ausgeklügelte Vermahlungsprozesse entwickelt.

Aus Sicht des Maschinenbauers ist ein Element bei der Walzenvermahlung besonders erwähnenswert: Der sogenannte Übertrieb, das heisst die Kopplung der beiden Walzendrehzahlen. Mit der technisch einfachen Konstruktion – nämlich zwei unterschiedlich grossen, ineinandergreifenden Stirnräder an einem Ende des Walzenpaars – ist eine geniale Lösung gelungen. Bei der für Getreide-Walzenstühle typischen Konstellation muss die langsame Walze stets abgebremst werden, um das gewünschte Drehzahlverhältnis aufrecht erhalten zu können. Bei konstantem Drehzahlverhältnis der Vermahlung, kann diese erstaunlich hohe Bremsleistung an der langsamen Walze direkt via Stirnräder an die schnelle Walze zurückgeführt werden.



Die technische Einfachheit und der hohe Wirkungsgrad des traditionellen Riemenantriebs sind für eine energieeffiziente Walzenstühle von Vorteil. Beim links gezeigten SWISCA-Walzenpaket sorgt eine Spannhilfe für die richtige Riemenspannung, ohne dass nachgemessen oder nachjustiert werden muss.

Bei einem typischen Walzenpaar wird also die schnelle Walze durch einen Elektromotor angetrieben und diese schnelle Walze treibt via Mahlgut im Mahlpalt die langsame Walze an. Der Übertrieb hindert die langsame Walze daran, die Drehzahl der schnellen Walze zu erreichen und gibt die Bremsleistung an die schnelle zurück. Somit wird ein überragend grosser Teil mechanischer Leistung im Kreis geführt.

Messungen zeigen, dass die Bremsleistung an der langsamen Walze sehr gross ist im Vergleich zur eingebrachten Leistung ins Walzenpaket. Bei Glattpassagen ist diese Bremsleistung in der Regel sehr viel grösser als die Zerkleinerungsleistung. Umso wichtiger ist es, dass diese bei hohem Wirkungsgrad an die schnelle Walze zurückgeführt wird.

Die Walzen verspannen sich aufgrund des Mahlguts und des Übertriebs. Aus den gemessenen Momenten an den Walzen lässt sich ein Momentverhältnis bilden, das bei für Walzenstühle typischen Betriebsbedingungen in einem gewissen Bereich liegt. Die Einflüsse auf dieses Momentverhältnis sind komplex. Wie hoch die Bremsleistung ist, wird durch das Drehzahlverhältnis und durch obiges Momentverhältnis bestimmt:

- Je kleiner die Drehzahl der langsamen Walze im Vergleich zur schnellen, desto kleiner ist die erforderliche Bremsleistung.
- Je stärker sich die Walzen gegeneinander verspannen, desto grösser ist die erforderliche Bremsleistung.

Selbstverständlich sagt obiger Sachverhalt nichts über die effektive Zerkleinerungsleistung aus, also die Leistung, die als Differenz zwischen Antriebs- und Bremsleistung im Mahlpalt umgesetzt wird.

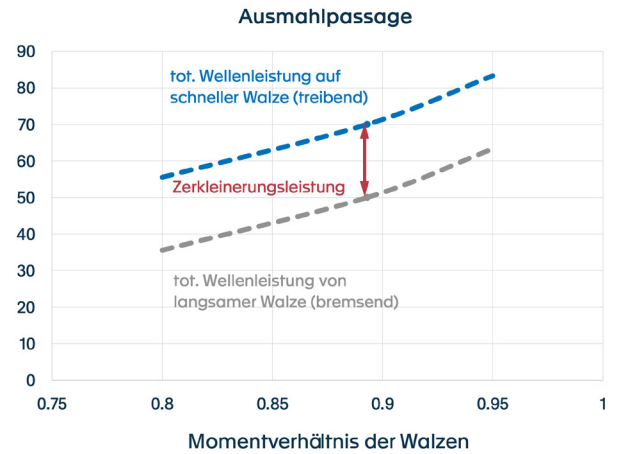
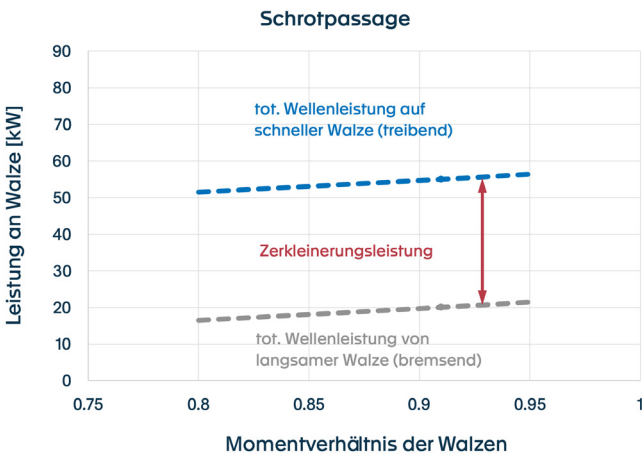
FREIHEITSGRAD UND WIRKUNGSGRAD

Druck kann im Betrieb durch einen variablen Mahlpalt auf einfache Art variiert werden. Eine im Betrieb variable Scherung erzeugt durch ein veränderbares Drehzahlverhältnis muss hingegen teuer erkaufte werden. Sei dies durch eine Rückführung der Bremsleistung bei entsprechenden Verlusten und/oder durch einen technisch aufwändigen Maschinenaufbau. Deshalb wurde der gewonnene Freiheitsgrad durch ein variables Drehzahlverhältnis immer sehr stiefmütterlich behandelt, für jeweilige Passagen optimiert und im Betrieb grösstenteils konstant belassen.

ERKLÄRUNG MIT BEISPIELEN

Gegeben seien zwei typische, gut ausgelastete Passagen:

	Schrotpassage	Ausmahlpassage
Drehzahlverhältnis schnelle Walze / langsame Walze	2.5	1.25
Geforderte Mahlleistung im Mahlpalt	35 kW	20 kW
Total Wellenleistung auf schneller Walze (treibend)	55 kW	70 kW
Total Wellenleistung von langsamer Walze (bremsend)	20 kW	50 kW



Die Zerkleinerungsleistung der Schrot-/Ausmahlpassage ist die Differenz zwischen der totalen Wellenleistung auf der schnellen Walze zu der totalen Wellenleistung der langsamen Walze.

Der Vergleich der beiden Passagen zeigt, dass sich die Leistungen der Ausmahlpassage trotz kleinerer Zerkleinerungsleistung auf höheren Niveaus befinden als diejenigen der Schrotpassage. Dies gilt selbstverständlich sinngemäß auch für weniger stark ausgelastete Passagen.



Bei 8-Walzenstühlen, die oft in der ersten und zweiten Schrot passage eingesetzt werden, fällt das Produkt vom oberen Walzenpaar direkt in den Mahlspace des unteren Walzenpaares.

VARIABILITÄT VS. WIRTSCHAFTLICHKEIT

Ein im Betrieb variables Drehzahlverhältnis lässt sich heutzutage am einfachsten umsetzen, in dem beide Walzen mit je einem Motor versehen und die zugehörigen Frequenzumrichter im Zwischenkreis verbunden werden. Dieser Walzen-Einzelantrieb kann als Direktantrieb oder durch einen abgesetzten Motor mit Riementrieb ausgeführt sein. Da in einem solchen System die Bremsleistung beim generatorisch betriebenen Motor der langsamen Walze aus dem System und via Motor an der schnellen Walze wieder ins System geführt wird, muss z.B. der Motor an der schnellen Walze viel grösser gewählt werden als bei einem vergleichbaren Walzenpaket mit fixem Drehzahlverhältnis.

Für das vorangestellte Beispiel bedeutet dies z.B.:

	Walzenpaket mit fixem Übertrieb		Walzenpaket mit Walzen-Einzelantrieb	
	Schrot-passage	Ausmahl-passage	Schrot-passage	Ausmahl-passage
Antriebs-Leistung	1 × 37 kW	1 × 22 kW	2 × 55 kW	2 × 80 kW

Die Antriebsleistung des Walzenpakets mit Einzel-Walzenantrieb muss deutlich höher sein als die Antriebsleistung des Walzenpakets mit fixem Übertrieb.

ABSOLUTE VERLUSTE

Basierend auf den vorhergehenden Beispielen werden nun die Verlustleistungen abgeschätzt. Dabei ist zu beachten, dass wenn für den Walzen-Einzelantrieb absichtlich sehr hohe Wirkungsgrade angenommen werden, dennoch ein sehr eindeutiges Bild entsteht:

	Walzenpaket mit fixem Übertrieb		Walzenpaket mit Walzen-Einzelantrieb	
Antrieb	Asynchronmotor IE3 (Netzbetrieb) mit Riementrieb auf schnelle Walze		– 2 identische permanentmagnet-erregte Synchronmotoren mit Umrichter	
Übertrieb	Riemenübertrieb		– Umrichter gekoppelt im Zwischenkreis	
Schrot passage	Volllast (100%)	Teillast (60%)	Volllast (100%)	Teillast (60%)
Geforderte Mahlleistung	35 kW	21 kW	35 kW	21 kW
Wirkungsgrade	Antrieb: 89%	Antrieb: 86%	Motoren: 95%	Motoren: 95%
	Übertrieb: 97%	Übertrieb: 97%	Umrichter: 98%	Umrichter: 98%
Total Verlustleistung	4.9 kW	3.7 kW	5.5 kW	3.3 kW
Ausmahl passage	Volllast (100%)	Teillast (60%)	Volllast (100%)	Teillast (60%)
Geforderte Mahlleistung	20 kW	12 kW	20 kW	12 kW
Wirkungsgrade	Antrieb: 88%	Antrieb: 86%	Motoren: 95%	Motoren: 95%
	Übertrieb: 97%	Übertrieb: 97%	Umrichter: 98%	Umrichter: 98%
Total Verlustleistung	4.3 kW	3.1 kW	8.6 kW	5.2 kW

* Die Verlustleistungen beziehen sich nur auf die Antriebskomponenten.

Die Verlustleistungen sind beim Walzen-Einzelantrieb deshalb grösser, weil sie auf einem höheren Leistungsniveau entstehen. Würde beim konventionellen Antrieb ein Zahnriemen mit entsprechend besserem Wirkungsgrad zum Einsatz kommen, wären die Verlustleistungen in jedem Fall kleiner.

DENN SIE WISSEN NICHT IMMER, WAS SIE TUN...

Um bei einem Walzenpaket mit Walzen-Einzelantrieb den vollen Freiheitsgrad nutzen zu können, müssen selbstverständlich Nennmomente bzw. Nennleistungen der Komponenten genügend gross gewählt werden. Dies darf nicht unterschätzt werden. Über den im Allgemeinen unbekanntem Leistungsfluss beim fixen Übertrieb muss man sich keine Gedanken machen. Ist die Leistungsübertragung schnelle Walze → Produkt → langsame Walze gross, dann ist eben die Übertriebsleistung gross und es wird mehr Leistung im Kreis geführt.

Die notwendige Antriebsleistung tangiert dies nicht und es kann mit den üblichen Annahmen für den Leistungsbedarf (kW pro t/h) gerechnet werden. Nicht so beim Walzen-Einzelantrieb: Die komplexe Kraftübertragung im Mahlpalt hat direkten Einfluss auf die notwendige Antriebs- und Bremsleistung und die Wahl der Komponentengrösse, da die Leistung komplett elektrisch aus- und wieder in das Paket eingeführt werden muss. Falsche Auslegungen führen dazu, dass der Durchsatz reduziert oder die Mahlarbeit verringert werden muss oder das prozesstechnisch optimale Drehzahlverhältnis nicht aufrechterhalten werden kann.

VARIABILITÄT IN MÜHLEN

In einer Getreidemühle gibt es eine Vielzahl an Schrot- und Mahlpassagen, wo sich ein im Betrieb variables Drehzahlverhältnis nicht rechnet. Hingegen kann die Variabilität bei einzelnen Passagen sinnvoll sein, um mit deren Hilfe Spezialprodukte erzeugen zu können. Dies kann zum Beispiel eine Schrot Passage sein, wo damit im Extremfall die Riffelstellung (Rücken/Rücken zu Schneide/Schneide) geändert wird oder eine Glatt Passage, bei der man mit einem hohen Drehzahlverhältnis besonders viel Scherung erzeugen möchte.

	Walzenpaket mit fixem Übertrieb	Walzenpaket mit Walzen-Einzelantrieb
Drehzahlverhältnis	Konstant	Variabel innerhalb der Grenzen der installierten Momente bzw. Leistungen
Drehzahlniveau	Variabilität möglich durch zusätzlichen Frequenzumrichter	
Technischer Aufwand	Minimal	2 grössere Motoren, 2 Frequenzumrichter, geschirmte Kabel
Elektrische Leistung	Gleiche aufgenommene Leistung, abgesehen von unterschiedlichen Verlustleistungen	
Wirkungsgrad	Hoher Wirkungsgrad: hohe Bremsenergie wird direkt mechanisch an schnelle Walze zurückgeführt	Kritisch, da zusätzliche Komponenten vorhanden und diese mit höherer Leistung belastet sind
Platzbedarf	Keine kompakte Bauweise möglich: – zwei Etagen (Motor unter Boden) – grössere Baulänge (Motor auf Boden)	Konzeptabhängig: – z.B. mit Direktantrieb → sehr kompakt – als Walzen-Einzelantrieb via Riemen → grosser Platzbedarf

Vergleich zwischen dem Walzenpaket mit festem Übertrieb und dem Walzenpaket mit Walzen-Einzelantrieb.



Falls die Variabilität des Drehzahlverhältnisses zur Herstellung spezieller Produkte erforderlich ist, kann dies in ausgewählten Passagen mit individuell zugeordneten Antrieben problemlos realisiert werden. Das Walzenpaket mit Einzelantrieben hat einen deutlich höheren Energieverlust.



ABSCHLUSS

FAZIT

Die Energieeffizienz kann durch die Optimierung des Mühlendiagramms und den Einsatz energieeffizienter Maschinen erreicht werden. Einem System Energie zu entziehen und diese dem System wieder rückzuführen, resultiert in einer schlechteren Energieeffizienz. Die Leistungsverluste sind beim Walzen-Einzelantrieb größer, weil die Energierückgewinnung für diese Anwendung nicht energieeffizient ist.

Ist die Variabilität des Drehzahlverhältnisses für die Herstellung spezieller Produkte erforderlich, so kann dies für ausgewählte Passagen mit individuell zugeordneten Motoren problemlos realisiert werden. Die technische Einfachheit und der hohe Wirkungsgrad des traditionellen Riemenantriebs sind für einen energieeffizienten Walzenstuhl von Vorteil. In Verbindung mit moderner Produktniveauregelung und -zuführung sowie der präzisen Einstellung und Stabilität des Mahlspalts durch robuste Walzenpakete ergibt sich ein insgesamt energieeffizienter Mahlprozess. Für technische Systeme sollte generell nur die benötigte Energie in geeigneter Form für eine optimale Energieeffizienz zugeführt werden.

Der Trend zur Prozessoptimierung durch energieeffiziente Anlagen mit nachhaltigen Maschinen in der Mühlenindustrie spart nicht nur Kosten, sondern unterstützt auch das Fachpersonal bei ihrer Arbeit. Innovative Konzepte ermöglichen energieeffiziente und lebensmittelsichere Lösungen für die Mühlenindustrie zur Verarbeitung von pestizidarm angebautem Getreide in käferfreien Mühlen.



Dipl. Ing.
Heinz Brand
Founder/CEO

SWISCA AG
Waldau 1, 9230
Flawil, Schweiz
www.swisca.com