

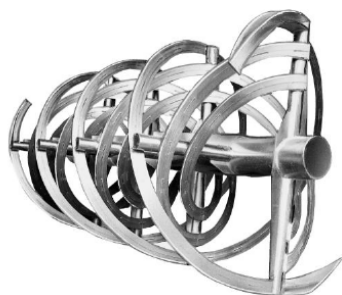
TECHNISCHER BERICHT

Beitrag zur Herstellung eines neu konzipierten Vakuumtrockners mit festem Außenmantel

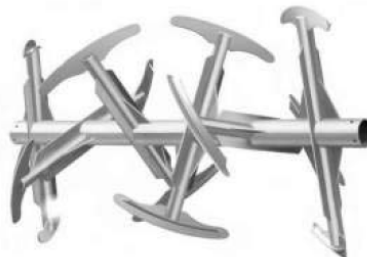
Das vorliegende Dokument fasst die Studie von Ing. M. Garbero und Prof. M. Vanni von der Universität Politecnico di Torino¹ zur Konfiguration und den Konstruktionsentscheidungen von Italtvacuum für die Umsetzung des neuen Vakuumtrockners mit festem Außenmantel Planex System[®] (Patent Nr. US 5,857,264) zusammen.

Art des Rührers

In der praktischen industriellen Anwendung werden in horizontalen zylindrischen Trocknern Rührer vom Typ *Ribbon* (Bandrührer) oder *Paddle* (Schaufelrührer) eingesetzt, um eine angemessene Mischung des Feststoffs zu garantieren.



(1a) – Ribbon (Bandrührer)



(1b) – Paddle (Schaufelrührer)

Abbildung 1 –
Rührertypen

Der Typ *Ribbon*, der in Abbildung 1a dargestellt ist, bietet einen hohen Mischgrad sowohl in Radial- wie Axialrichtung ohne relevante Erwärmungsphänomene des Produkts. Die Reinigung des Rührers ist allerdings schwierig, und auch der Ausbau der Klingen für die Wartung ist nicht einfach.

Beim Typ *Paddle*, der in Abbildung 1b dargestellt ist, besteht dieses Problem weniger, allerdings erreicht er einen geringeren Mischgrad, denn er garantiert zwar radial, nicht jedoch axial eine gute Mischung.

Für den Prozess der Vakuumtrocknung von Pulver ist weniger ein hoher Mischgrad erforderlich, sondern die Feststoffpartikel müssen regelmäßig an die Oberfläche der Granulatmasse gebracht werden, um die Lösungsmittelverdampfung zu optimieren. Die ständige Umwälzung der Oberfläche wird von beiden Rührern gewährleistet. Der Schaufelrührer scheint allerdings geeigneter, weil der Einsatz in der pharmazeutischen und chemisch-pharmazeutischen Industrie eine häufige Reinigung des Geräts erfordert. Der Energieverbrauch beider Rührer ist vergleichbar, er hängt allerdings auch davon ab, wie viele Klingen und Schaufeln verwendet werden.

Aufgrund dieser Betrachtungen und angesichts der Tatsache, dass ein Gerät mit einfacher Konstruktion, Wartung und Reinigung erforderlich war, beschloss Italtvacuum, einen Schaufelrührer (Typ *Paddle*) zu verwenden.

Mischung des Produkts

Um den Rührvorgang zu verbessern und eine wirksame Umwälzung der Feststoffpartikel auf der Granulatmasse zu ermöglichen, setzt Italtvacuum innerhalb des Trockners außer der Rotationsbewegung auch eine *Planetenbewegung* ein. Sie besteht in einer langsamen Rotation des Rührers – der einen geringeren Durchmesser als die Kammer hat – um die Trocknerachse, die bei diesem Gerät nicht mit der Rührerachse zusammenfällt (siehe Abbildung 2).

Für den betreffenden Trockner wurde ein Verhältnis zwischen Rührerdurchmesser und Innendurchmesser der Trockenkammer von knapp über 0,5 gewählt. Daraus leitet sich die Betrachtung ab, dass der vom Rührer durchmischte Durchmesser so sein muss, dass der Feststoff in jeder beliebigen Zone des Trockners bei der Planetenbewegung des Rührers effizient gemischt werden kann, d.h., er größer muss als $D/2$ sein.

TECHNISCHER BERICHT

Andererseits erweist es sich als günstig, die Maße des Rührers zu begrenzen, um mit höheren Rotationsgeschwindigkeiten arbeiten zu können. Der Rührer besteht aus vier leicht ausbaubaren Blöcken, von denen jeder eine Schaufel für die Mischung des Feststoffs trägt. Die Entscheidung, die Anzahl der Schaufeln zu begrenzen (insgesamt 4), hängt von der Anforderung ab, die Belastungen auf der Rührerwelle, die durch die Arbeit der Schaufeln in der festen Masse verursacht werden, möglichst zu verringern.

Wie wir im Folgenden analysieren werden, stellen diese Belastungen einen der wichtigsten Beiträge zum Stromverbrauch der Antriebswelle dar. Mit dieser Konfiguration müssen zwar die Maße der Welle vergrößert werden, um ein mögliches Ausschlagen und Vibrationen bei der Planetenbewegung zu vermeiden, man spart aber Energie.

Verdoppelt man nämlich die Schaufelzahl (von 4 auf 8), wird eine Zunahme der Leistungsaufnahme um ca. 30 % geschätzt.

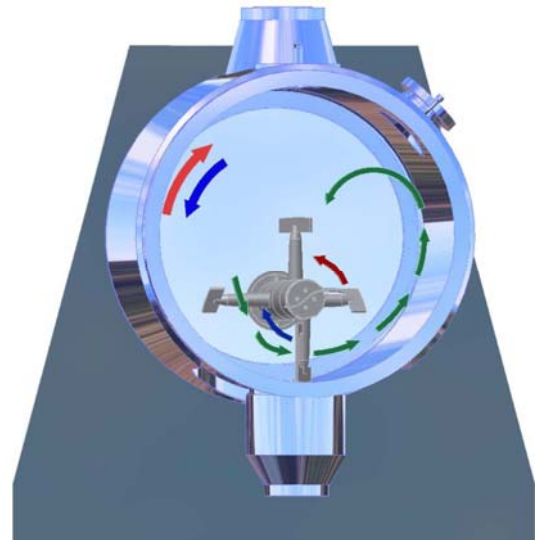


Abbildung 2 – Paddle-Rührer mit 4 Schaufeln

Die Form der äußeren Schaufeln ist so konzipiert, dass der Raum zwischen Rührerprofil und Mantel des Trockners möglichst gering ist, so dass die Ablösung von Materialkörnern begünstigt wird. Die Schaufeln wurden so geneigt, dass der Druck in Axialrichtung auf dem Rührer annähernd kompensiert wird. Eine präzise Berechnung dieser Druckkraft ist allerdings nicht möglich, da sie von der Reibung zwischen dem granularen Feststoff und der Schaufel abhängt, die entsprechend den jeweiligen Prozessbedingungen sehr stark variiert und nicht von vornherein quantifiziert werden kann.

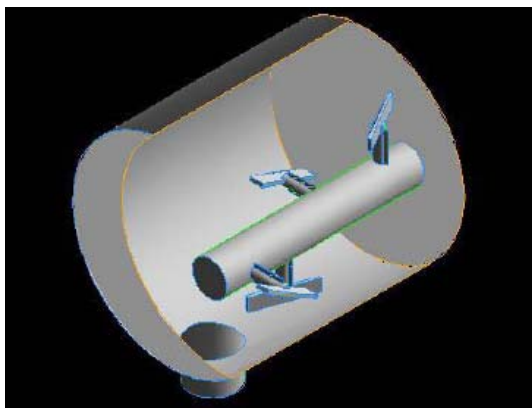


Abbildung 3 – Entleerungsöffnung

Abbildung 3 zeigt die Anordnung mit Entleerungsöffnung unten an der zylindrischen Oberfläche des Behälters zwischen der ersten und zweiten Schaufel: Durch diese Anordnung wird der Ablauf regelmäßig immer dann gespeist, wenn der Rührer auf den Boden des Zylinders kommt. Dank eines spezifischen Entleerungszyklus, der eine Pendelbewegung des Rührers mit abwechselnder Drehrichtung vorsieht, und des sehr geringen Raums zwischen Rührerprofil und Mantel der Trockenkammer kann man erreichen, dass das Produkt vollständig entleert wird.

Leistungsverbrauch und Überhitzung des Produkts

Bei der geprüften Maschine hängt der Gesamtverbrauch der Leistung von der kombinierten Wirkung der Rotations- und Planetenbewegung der Rührerwelle in der Feststoffmasse ab.

Der Stromverbrauch allein für die Planetenbewegung im Prozess ist nur wenig höher als bei einer Bewegung der mechanischen Teile ohne den Feststoff. Dies kommt daher, dass der Feststoff hauptsächlich durch die Rührerbewegung um seine eigene Achse bewegt wird und dass die Planetendrehung langsam erfolgt.

TECHNISCHER BERICHT

Daraus folgt, dass der Stromverbrauch der Planetenumwälzung im Wesentlichen vom Gewicht der mechanischen Teile und von der Reibung für ihre Bewegung abhängt.

Umgekehrt ist die Menge der verbrauchten Energie durch die Rotationsbewegung des Rührers um seine eigene Achse nicht leicht zu beziffern. Sie hängt nicht nur von der Geometrie der Schaufeln, sondern auch von der Art des Feststoffs, von der Korngröße, vom Feuchtigkeitsgrad, der Drehzahl des Rührers und vom Füllgrad ab. Dies führt zu einem der Vorteile der Planetenbewegung, nämlich der **Möglichkeit, einen Rührer mit einem erheblich kleineren Durchmesser als dem Gerätedurchmesser einzusetzen**. Die Planetenbewegung garantiert die Bewegung des Materials im ganzen Volumen, während der **kleine Durchmesser des Rührers den Energieverbrauch in Form von Reibung zwischen den Feststoffpartikeln verringert**.

Die Leistung, mit der die Welle gespeist werden muss, lässt sich mit folgender Formel errechnen²:

$$P = L \times g \times \lambda \times \varphi \times \rho \times \frac{\pi \times D_g^2}{4} \times S \times N$$

Dabei ist:

P = der Welle gelieferte Leistung, kW

g = Schwerkraftbeschleunigung, 9,81 m/s²

λ = Koeffizient des Widerstands gegen die Materialbewegung (3-4)

φ = Füllgrad

ρ = anscheinende Dichte des Materials, kg/m³

D_g = Rührerdurchmesser, m

S = Teilung, m

L = Länge des Rührers, m

N = Rotationsgeschwindigkeit, rps

Daraus folgt, dass die erforderliche Leistung für die Rührerwelle des Trockners Planex und dementsprechend der Energieverbrauch in Form von Reibung zwischen den Feststoffpartikeln in dieser Art von Maschinen etwa dreimal geringer ist als bei traditionellen Trockner mit konzentrischem Rührer.

Füllstand

Wie bereits ausgeführt, hängt der Energieverbrauch durch die Rotationsbewegung des Rührers um seine Achse auch vom Füllstand ab. Bei konventionellen Geräten mit konzentrischem Rührer steht die Menge des bewegten Feststoffs in Beziehung zum Füllstand des gesamten Geräts, da das vom Rührer umgewälzte Volumen gleich dem Gesamtvolumen ist. Bei dem vorliegenden Gerät wirkt der Rührer nur auf einen Teil des Feststoffs, der während der Planetenbewegung variiert. Daraus folgt, dass bei gleichem Füllstand der Energieverbrauch sich in der Zeit ändert, je nachdem, ob der Rührer mehr oder weniger in den Feststoff eingetaucht ist.

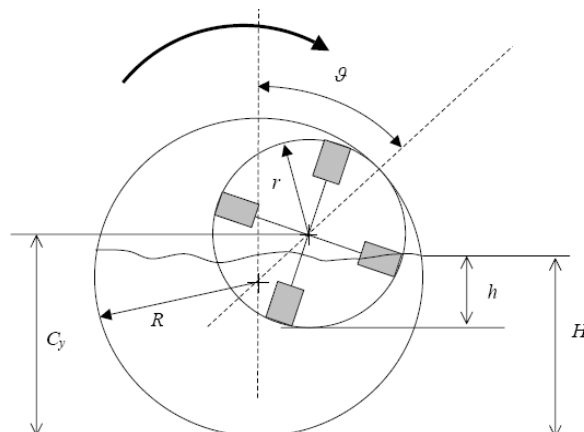


Abbildung 4 – Planetenbewegung des Rührers

TECHNISCHER BERICHT

Wenn man den Stromverbrauch in Abhängigkeit vom Füllstand φ und von der Rotationsgeschwindigkeit N (rpm) nach der Gleichung von Masiuk³ ausdrückt:

$$P = k \cdot N \cdot \exp[1.28(\ln \varphi + \varphi)] \quad (1)$$

erhält man die Grafik in Abbildung 5. Sie zeigt den Verlauf des Stromverbrauchs in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Rührers um die Trocknerachse bei verschiedenen Füllständen der Kammer.

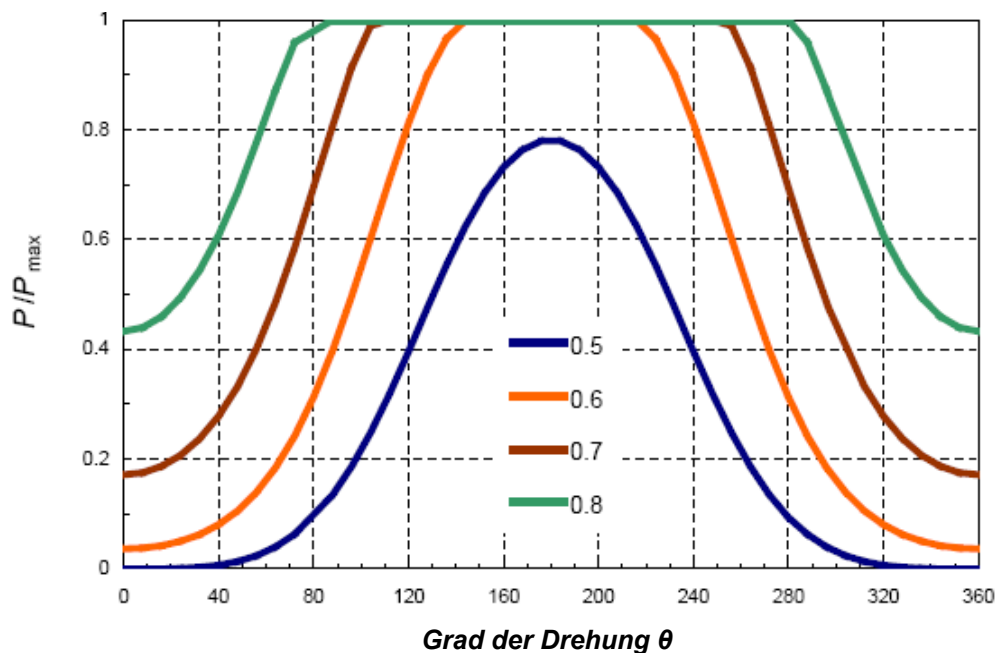


Abbildung 5 – Verlauf des Stromverbrauchs des Rührers nach der Gleichung (1) während der Planetenbewegung in Beziehung zum Füllstand der Trocknerkammer

Um die optimale Konfiguration zu wählen, muss man eher noch als die Leistungsvariation die Umwälzung der Oberfläche Gas/Feststoff – ein wesentlicher Parameter für die effiziente Verdampfung – und die Erneuerung des Kontakts Partikel/Wand berücksichtigen, der wichtig ist, um einen hohen Wärmeaustausch zu erreichen. Dafür ist die Kombination der beiden Bewegungen des Rührers, der Planeten- und der Rotationsbewegung, von Bedeutung. Der optimale Füllstand hängt also nicht nur von der Maschine selbst, sondern auch von den Prozessbedingungen und den Produkteigenschaften ab. Es ist klar, dass der Prozess bei einer zu starken Befüllung nicht effizient stattfinden kann, weil der Rührer fast immer bedeckt ist und die Oberfläche nicht umwälzen kann. Bei geringen Füllwerten erweisen sich die beiden kombinierten Bewegungen – die Rotation um die eigene Achse und die Planetenbewegung mit angemessenem Wechsel – auch bei geringer Produktmenge als extrem effizient.

Die optimale Konfiguration liegt also dazwischen und entspricht theoretischen Füllwerten der Kammer von 0,5 bis 0,8 des Gesamtvolumens. Bei diesen Werten bewegt der Rührer immer eine gewisse Menge Feststoff und ist nur für eine kurze Zeitspanne vollständig bedeckt.

Außerdem kann man dank der Pendelbewegung des Rührers auch bis zu Kammerfüllwerten von 0,2 heruntergehen, ohne die Effizienz der Maschine zu verringern.

¹ Garbero, M., Vanni, M., 2004, "Contributo alla realizzazione di un essiccatore prototipo per brevetto IT1273100".

² Dubbel, Beitz, Kuttner, "Dubbel's Handbook of mechanical engineering", CRC Press, (1994).

³ Masiuk S., "Power consumption, Mixing Time and Attrition Action for Solid Mixing in a Ribbon Mixer", Powder Technology, 217-229, 51, (1987).