



Dr.-Ing. Mathias Trojosky
 ALLGAIER PROCESS TECHNOLOGY GmbH
 Göppingen/Deutschland
 www.allgaier.de

Mathias Trojosky (1960) studierte von 1981–1986 „Apparate- und Anlagenbau“ an der Technischen Hochschule Magdeburg, wo er 1991 während seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent (1986–1991) promovierte. 1991–1995 arbeitete er als Vertriebsleiter „Trocknung“ bei der GEA Wiegand GmbH Ettlingen/Karlsruhe. 1995 wechselte er zur ALLGAIER Werke GmbH, wo er zu Beginn als Vertriebsleiter „Trockner und Kühler“ und inzwischen als Bereichsleiter Trocknungstechnik bei der ALLGAIER Process Technology GmbH tätig ist.

Trommel- oder Fließbettrockner Drum dryers or fluidized bed dryers

Auswahlkriterien für die Verwendung von Trocknern in der Mineralrohstoff-, chemischen und Recycling-Industrie

Zusammenfassung: Verschiedene Lieferanten von Trocknungsanlagen bewerben in teilweise scharfem Wettbewerb jeweils die Techniken ihres eigenen Lieferprogramms. Das hat bei den Anwendern zu Verunsicherungen bei der Auswahl des richtigen oder optimalen Trocknungssystems geführt. Insbesondere steht häufig die Frage des Für oder Wider der Anwendung von Trommelrocknern (Drehrohrrocknern) oder Fließbettrocknern (Wirbelschicht-Vibrationstrocknern) im Raum. Während sich in einigen Fällen die beiden Techniken in ihrer Anwendbarkeit überschneiden, gibt es doch eine Reihe von Entscheidungskriterien, welche den einen oder den anderen Trocknertyp für die jeweilige Anwendung favorisieren, wie im folgenden Beitrag dargelegt wird.

Criteria for selecting dryers for use in the minerals, chemicals and recycling industries

Summary: In sometimes fierce competition, the various dryer suppliers promote the technology of their particular dryer range. This has led to uncertainty among users with regard to selecting the right or optimal drying system. One common dilemma is the decision for or against the use of drum dryers (rotary kiln dryers) or fluidized bed dryers (vibration fluidized bed dryers). While in some cases the two systems overlap with regard to their suitability for a particular application, a number of criteria exist to aid decision making in favour of one or the other type of dryer for the respective application, as explained in the following paper.



Typische Trommelrockner-Anlage zur Trocknung und Kühlung von Quarzsand • Typical drum dryer for drying and cooling silica sand

Allgaier bietet durch sein breites Lieferprogramm unterschiedlicher Trocknungstechniken die Möglichkeit, sowohl Fließbett- als auch Trommelrockner-Anlagen verschiedener Bauart zu liefern. Aus der Erfahrung vieler Referenzanwendungen können den Anwendern der Baustoff- und Mineralrohstoffindustrie, der keramischen und chemischen Industrie sowie der Sekundärrohstoff- und Recycling-Industrie wie auch interessierten Anlagenbauern Empfehlungen für eine optimale und auf den speziellen Anwendungsfall zugeschnittene Trocknungstechnik gegeben werden.

Dabei spielen produktspezifische Kriterien wie

- Partikelgröße und Partikelverteilung
- Empfindlichkeit der Produkte gegen Temperatur und Abrieb sowie

prozessrelevante Kriterien wie

- Durchsatz-, Qualitäts- und Feuchte-Schwankungen des Produktes
- Elektro- und Heiz- Energiebedarf

und solche Belange wie

- Aufstell-Land und Infrastruktur
- Qualifikation des Bedienpersonals usw.

eine entscheidende Rolle.

Trommelrockner werden seit vielen Jahrzehnten zur Trocknung unterschiedlichster Güter eingesetzt. Während sich Trom-

With its wide range of different drying systems, Allgaier can supply both fluidized bed and drum dryers of different types. On the basis of its experience of many reference applications, it can provide recommendations to users in the construction materials and minerals industries, the ceramics and chemicals industries, the waste-derived raw materials and recycling industries as well as interested plant suppliers with regard to choosing an optimal drying system tailored to the specific application.

Here product-specific criteria such as

- particle size and particle size distribution
- product sensitivity to temperature and abrasion as well as

process-relevant criteria such as

- fluctuations in the throughput rate, quality and moisture content of the product
- electrical and heating energy requirement

and considerations such as

- country of installation and infrastructure
- qualifications of the operatives, etc.

play a crucial role.

Drum dryers have been used for many decades for drying a very broad range of materials. While drum dryers have become widely established in the construction materials, minerals and raw materials industries, fluidized bed dryers or

meltrockner in der Bau-, Mineral- und Rohstoffindustrie weitgehend durchgesetzt haben, kommen besonders in der chemischen Industrie sowie der Lebensmittel- und pharmazeutischen Industrie seit einigen Jahrzehnten auch Fließbett-trockner bzw. Vibrations-Wirbelschichttrockner zum Einsatz.

Für Wirbelschichttrockner sind eine Reihe von Sonderanwendungen entwickelt worden (Sprühgranulationstrockner, Suspensions- und Pastentrockner, Wirbelschichttrockner/Kühler mit in die Wirbelschicht integrierten Wärmetauschern, Flugschichttrockner usw.). Seit ca. zwei Jahrzehnten sind auch in der Bau- und Mineralstoffindustrie Vibrations-Wirbelschichttrockner, sogenannte Fließbett-trockner-Anlagen installiert worden. Zeitgleich wurden jedoch auch Trommel-trockner technisch weiterentwickelt. Sie ermöglichen speziell für Anwendungen in der Mineralstoffindustrie energie-tisch besonders effiziente Einsatzmöglichkeiten sowie beson- ders robuste und störungsunempfindliche Lösungen.

1 Funktionsprinzipien von Trommel-trocknern

In Trommel-trocknern wird der Feststoff durch die Drehung der Trommel und durch die Förderwirkung von in der Trommel befindlichen Einbauten bewegt. Ältere Trommel-trockner wurden zur Unterstützung des Feststofftransportes meist mit einer geringen Neigung gebaut. Trommel-trockner moderner Bauart nach dem System MOZER® werden fast ausschließlich waagrecht aufgestellt. Hubschaufeln nehmen den feuchten Feststoff vom Grund der Trommel auf und lassen ihn nach dem Heben wieder fallen, wodurch ein Kontakt der heißen Trocknungsluft mit dem feuchten Feststoff entsteht.

In den meisten Anwendungen zur Trocknung wird der Feststoff im Gleichstrom, also in Richtung der Gasströmung gefördert. Die Förderung des Feststoffes erfolgt durch sogenannte Leitschaufeln. So entsteht eine Kombination aus Gleichstrom und Kreuzstrom zwischen dem Trocknungsgas und dem Feststoff. Gegenstromanwendungen finden sich vor allem in der Asphaltindustrie sowie bei Hochtemperaturanwendungen und der Kalzinierung.

Die Beheizung der Trocknungsluft für Anwendungen in der Mineralstoffindustrie erfolgt in der Regel durch den Einsatz von Gas- oder Leichtöl-Brennern. Die Verbrennungsgase werden mit einem Anteil Umgebungsluft auf mittlere Trocknungslufttemperaturen zwischen 600 °C und 900 °C gemischt. Für thermisch unempfindliche Güter wie z. B. Quarzsand (**Aufmacherbild**, S. 75) kann die Flamme direkt in der sich drehenden Trommel ausbrennen. Bei der Trocknung von temperaturempfindlichen Stoffen wie Kalkstein, Ton, Bentonit, Kunststoffrecyclaten oder organischen Rest- und Abfallstoffen kommen Brennkammern zum Einsatz, die sicherstellen, dass die heißen Verbrennungsgase in der Brennkammer vor Eintritt in die Trommel ausreichend gut mit Umgebungsluft auf die gewünschte mittlere Trocknungsluft-Temperatur vermischt sind. Brennkammern werden auch beim Einsatz von Heizöl (Diesel) statt Erdgas verwendet, damit es zu einem schadstoffarmen und rußfreiem Ausbrand des Heizöles kommt. **Bild 1** zeigt eine typische Trommel-trockneranwendung mit Brennkammer.

vibration fluidized bed dryers have also been used especially in the chemicals, foodstuffs and pharmaceuticals industries for some decades now.

For fluidized bed dryers, a series of special applications has been developed (fluid bed spray granulator, suspension and paste dryer, fluidized bed dryer/cooler with heat exchangers integrated in the fluidized bed, dispersion dryers, etc.). Over the last two decades or so, vibration fluidized bed dryers have also been installed in the construction materials and minerals industries. At the same time, however, drum dryers have undergone further technical development. Especially for applications in the minerals industry, they enable particularly energy-efficient operation as well as exceptionally rugged and fault-insensitive solutions.

1 Operating principle of drum dryers

In drum dryers, the solid material is moved by the rotation of the drum and the conveying action of the fittings inside the drum. To support the transport of the solid, older drum dryers were usually built with a slight incline. Modern drum dryers based on the MOZER® system are almost all installed horizontally. Lifting blades pick up the moist solid from the bottom of the drum and let it fall again, allowing contact between the hot drying air and the moist solid.

In most drying applications, the solid material is conveyed in a co-current flow, i.e. in the direction of the gas flow. The solid material is conveyed with the help of guide blades. This results in a combination of co- and countercurrent flow between the drying gas and the solid. Countercurrent applications are found mainly in the asphalt industry as well as in high-temperature applications and calcination.

The drying air for applications in the minerals industry is generally heated by means of gas or light fuel oil burners. The combustion gases are mixed with part of the ambient air to obtain average drying air temperatures between 600 °C and 900 °C. For thermally insensitive materials, e. g. silica sand (**Lead picture**, p 75), the flame can burn directly into the rotating drum. For the drying of temperature-sensitive materials such as limestone, clay, bentonite, plastic recycle or organic waste, firing chambers are used to ensure that the hot combustion gases in the firing chamber are efficiently mixed with ambient air to the required mean drying air temperature prior to entering the drum. Firing chambers are also used with heating oil (diesel) instead of natural gas so as to ensure a low-pollutant and soot-free burnout of the heating oil. **Fig. 1** shows a typical drum dryer application with a firing chamber.

Overall the technical requirements for heating drum dryers are low. Modern burners have only relatively small combustion air fans. Fans for conveying drying air to the dryer and complex pipeline arrangements are generally not necessary.

The moisture-laden dryer exhaust air is extracted from the dryer by means of an extractor fan, fed through a bag filter to remove any entrained dust and emitted into the environ-

Insgesamt ist der technische Aufwand zur Beheizung von Trommeltrocknern gering. Moderne Brenner haben lediglich relativ kleine Verbrennungsluftventilatoren. Ventilatoren zur Förderung der Trocknungsluft zum Trockner sowie aufwändige Verrohrungen werden in der Regel nicht benötigt.

Die feuchte Trocknerabluft wird durch einen Abluftventilator aus dem Trockner abgesaugt, über einen Schlauchfilter zur Abscheidung der mitgeführten Stäube geführt und über einen Kamin in die Umgebung abgegeben. Auch die Abluftverrohrung einer Trommeltrockneranlage ist vergleichsweise einfach gestaltet, da nur von einem Punkt des Trocknergehäuses abgesaugt werden muss.

Trommeltrockner werden für Feststoffleistungen zwischen 5 und 150 t/h gebaut. Ein besonderer Vorteil von Trommeltrocknern ist die weitgehende Unempfindlichkeit gegen Schwankungen der Eintrittsfeuchte der zu trocknenden Güter sowie gegen Schwankungen der Durchsatzleistung und der Körnung der Güter oder gegen den Eintrag unerwünschter Klumpen oder Grobstücke. Selbst bei einem Stromausfall kann in den meisten Fällen direkt nach wieder anliegender Stromversorgung weiter gefahren werden.

Trommeltrockner eignen sich sowohl für feine Sande, insbesondere aber auch für grobe und sehr grobe Schüttgüter, wobei bei einem Wechsel der Produkte die Luftmenge nicht zwingend angepasst werden muss. Auch bei einem Ausfall



1 Brennkammer eines Trommeltrockners System MOZER®
Firing chamber of MOZER® system drum dryer

ment through a chimney flue. The system of pipes for the exhaust air from the drum dryer is a comparatively simple arrangement as the air only has to be extracted from one point on the dryer casing.



2 Typischer Materialschleier im Innern eines Trommelrockners (feststofffreie Bereiche blau eingefärbt)
Typical curtain of material inside of a drum dryer (solids-free areas coloured blue)

der Trocknungsluft wird der Feststoff im Trommelrockner durch die Drehung der Trommel zuverlässig weiter gefördert.

Trommelrockner sind besonders tolerant gegen Bedienfehler und deshalb auch optimal geeignet für eine Installation in strukturell weniger gut entwickelten Wirtschaftsgebieten. Der Aufwand für eine Automatisierung der Trocknersteuerung ist vergleichsweise gering.

Wegen des verhältnismäßig einfachen Aufbaus einer Trommelrockneranlage können Endanwender verschiedene Arbeiten auf der Baustelle zur Montage der Anlage in Eigenleistung übernehmen. Das ist besonders beim Export von Anlagen nach Übersee von Interesse, wenn lokal verfügbare Abluftfilteranlagen verwendet werden oder die lufttechnische Verrohrung durch örtliche Unternehmen realisiert werden soll. Außerdem kann eine Trommelrockneranlage meist in relativ kurzer Zeit in Betrieb genommen werden.

Allgaier hat mit dem System MOZER® verschiedene seit vielen Jahrzehnten bewährte Trommelrocknertechniken im Lieferprogramm, die sich besonders auch durch eine energetisch sehr effiziente Betriebsweise auszeichnen. Ein wesentlicher Faktor für die effektive Nutzung der Heizenergie ist die optimale Gestaltung der Trocknerinbauten, die einen bestmöglichen und intensiven Kontakt zwischen dem zu trocknenden Feststoff und dem Trocknungsgas gewährleisten müssen. Bild 2 zeigt einen Blick auf den Materialschleier im Innern eines Trommelrockners.

Deutlich werden Bereiche (im Bild blau eingefärbt), in denen das Trocknungsgas nicht optimal mit dem rieselnden Feststoff in Kontakt ist. Deshalb ist es notwendig, dass das Trocknungsgas beim weiteren Durchströmen der Trommel ausreichend oft, also mehrere Male, den Feststoffschleier durchströmt. Da der Feststoff nach dem Herabrieseln eine gewisse Zeit auf dem Boden der Trommel verweilt und also währenddessen nicht durchströmt wird, ist es ebenso wichtig,

Drum dryers are built for solids throughput rates between 5 and 150 t/h. One particular advantage of drum dryers is that they are largely insensitive to fluctuations in the starting moisture content of the material to be dried and to fluctuations in the feed rate, size of the particles or the inclusion of unwanted clumps or coarse particles. Even in the event of a power cut, in most cases it is possible to resume operation as soon as the power supply is restored.

Drum dryers are suitable for fine sands, but especially for coarse and very coarse bulk solids, it not being absolutely necessary to adjust the air volume on product changeover. Even if the supply of drying air cuts out, the solid in the drum dryer is reliably conveyed by the rotation of the drum.

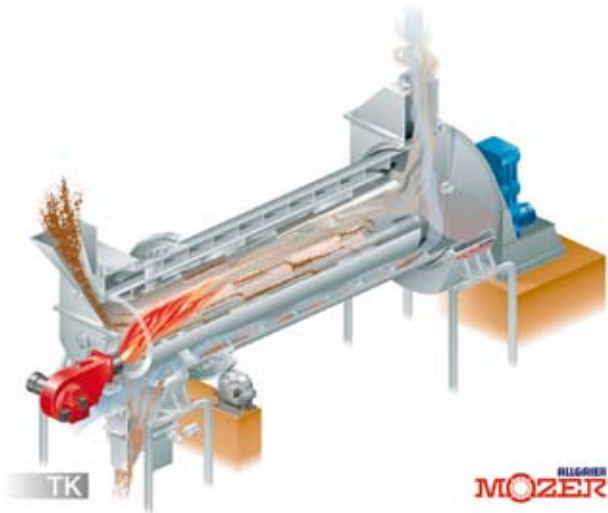
Drum dryers are especially tolerant to operating errors and therefore optimally suitable for installation in economic areas with poor structural development. The cost for automation of the dryer control system is comparatively low.

On account of the comparatively simple setup of a drum dryer, end-users can detail their own personnel to perform various jobs for dryer assembly on the construction site. That is especially interesting with regard to the export of dryers overseas, when locally available exhaust air filters are used or the air pipelines are to be installed by local companies. In addition a drum dryer can usually be commissioned in a relatively short time.

With the MOZER® system, Allgaier has been able to boast proven drum dry technologies in its range for many decades. A key feature is their extremely energy-efficient operation. An essential factor for the efficient utilization of the heating energy is the optimal design of the dryer's internal fittings as these have to guarantee optimal and intensive contact between the solids to be dried and the drying gas. Fig. 2 shows a view of the material curtain inside a drum dryer.

Clearly indicated are those areas (coloured blue in the picture) in which the drying gas is not in optimum contact with the flowing solid. For this reason it is necessary for the drying gas to flow through the curtain of solid material sufficiently often, that is more than once. As, once it has flowed down to the bottom of the drum, the solid material spends a certain time there and drying air cannot flow through it during this time, it is equally important that the solid material is repeatedly lifted by the lifting blades and drying air can flow through it sufficiently often. If the drum is, for example, filled too full – this is termed the filling level, the internal fittings are not able to adequately circulate the entire solids. The optimal gas-solid contact is based on the design of the dryer internal fittings in combination with the right length of the dryer and the filling level.

Resulting from hundreds of realized reference plants, a large number of variants is available for the design of the internal fittings. Many years of experience is especially important for optimal design of the dryer and to supplement the thermodynamic balancing of the drying process, from which the air volume and the heating rate to realize the required water evaporation and solids throughput rates are derived.



3 Trocken-Kühltrommel System MOZER® TK
MOZER® TK system drying-cooling drum

dass der Feststoff immer wieder durch Hubschaufeln aufgenommen und ausreichend oft verrieselt wird. Ist die Trommel beispielsweise zu stark gefüllt - man spricht vom Füllgrad -, können die Einbauten nicht den gesamten Feststoff oft genug umwälzen. Der optimale Gas-Feststoff-Kontakt erfolgt durch die Gestaltung der Trocknereinbauten in Zusammenhang mit der richtigen Länge des Trockners sowie dem Füllgrad.

The internal fittings as well as the drums themselves are made from thick-walled steel, to give a piece of equipment that is very rugged and durable and especially suitable for use in the minerals industry. With appropriate design of the internal fittings, even very abrasive materials can be processed in drum dryers. For abrasive materials, care is taken to ensure that the solid material only slides a little or not at all on the lifting and guide blades, and falls onto a material bed of the solids to be dried. So, even for highly abrasive solids, very durable drum dryer solutions can be realized.

Especially for new products or specific features of the solids to be dried, dryer design is rounded off with test results that can be obtained at the Allgaier testing centre. The test dryers available have an adequate size, permitting reliable scale-up.

Dryers generally have a low specific heating energy requirement providing the process can be operated with extremely high air entry temperatures. High hot gas temperatures result in low volumes of drying air and therefore low heat losses emitted with the still warm exhaust air. For this reason, drum dryers operate very efficiently with the hot gas temperatures up to 900°C common in the minerals industry, although the exhaust air temperatures of drum dryers are slightly higher than, for example, the temperature of the exhaust air from fluidized bed dryers.

Resultierend aus Hunderten realisierter Referenzanlagen steht eine Vielzahl von Varianten für die Gestaltung der Einbauten zur Verfügung. Langjährige Erfahrung ist besonders wichtig für ein optimales Trocknerdesign und ergänzt die thermodynamische Bilanzierung des Trocknungsprozesses, aus dem die Luftmenge und die Heizleistung zur Realisierung der gewünschten Wasserverdampfungsleistung und des Feststoffdurchsatzes hervorgehen.

Die Einbauten wie die Trommel selbst werden aus dickwandigem Stahl hergestellt und resultieren in einer speziell für die Mineralstoffindustrie geeigneten, sehr robusten und langlebigen Ausrüstung. Durch eine geeignete Gestaltung der Einbauten können auch sehr abrasive Materialien in Trommeltrocknern behandelt werden. Bei abrasiven Gütern wird darauf geachtet, dass der Feststoff möglichst nicht oder nur wenig auf den Hub- und Leitschaufeln gleitet und beim Herabfallen auf ein Materialbett des zu trocknenden Feststoffes fällt. Somit lassen sich auch für stark abrasive Feststoffe sehr langlebige Trommeltrockner-Lösungen realisieren.

Insbesondere bei neuen Produkten oder spezifischen Besonderheiten der zu trocknenden Feststoffe wird das Trocknerdesign durch Versuchsergebnisse abgerundet, welche im Allgaier-Technikum gewonnen werden können. Die allen Kunden zur Verfügung stehenden Versuchstrockner haben eine ausreichende Größe, welche ein sicheres scale-up gewährleisten.

Trockner haben allgemein immer dann einen spezifisch geringen Heizenergiebedarf, wenn der Prozess mit möglichst hohen Lufteintrittstemperaturen betrieben werden kann. Aus hohen Heißgastemperaturen resultieren geringe Trocknungsluftmengen und damit geringe, mit der noch warmen Abluft abgegebene Wärmeverluste. Aus diesem Grunde arbeiten Trommeltrockner mit den in der Mineralstoffindustrie üblichen Heißgastemperaturen bis 900 °C sehr effizient, obwohl die Ablufttemperaturen von Trommeltrocknern meist leicht höher liegen als beispielsweise bei Fließbett-trocknern.

Ein besonderer Vorteil von Trommeltrocknern besteht darin, dass in Perioden, in denen eine auf einen bestimmten Nenndurchsatz ausgelegte Trocknungsanlage z. B. aus produktionstechnischen Gründen über längere Zeit bei einer signifikanten Minderleistung betrieben werden soll oder muss, neben der automatischen Abregelung der Heißgaseintrittstemperatur die Möglichkeit besteht, auch die Trocknungsluftmenge auf die verminderte Durchsatzleistung anzupassen.

Durch die Reduzierung der Trocknungsluftmenge kann dann die Heißgastemperatur hoch bzw. nahe dem Auslegungspunkt gehalten werden. Wie oben beschrieben, bleibt damit auch bei Minderlast der geringe spezifische Brennstoffbedarf erhalten.

Fließbett-trockner bieten diese Möglichkeit nicht, da auch bei Minderleistung die volle Trocknungsluftmenge beibehalten werden muss, um den Feststoff zu fluidisieren. Eine gute Feststofffluidisierung durch die Trocknungsluft ist bei



4 Trocken-Kühltrommel System MOZER® „TK_plus“ mit beidseitiger Zuführung des Feuchtsandes
MOZER® „TK_plus“ system drying-cooling drum with feed of the wet sand on both sides

One particular advantage of drum dryers is that for those periods in which a dryer designed for a certain nominal throughput must be operated at a significantly lower rate, e. g. for production reasons, besides the automatic regulation of the hot gas entry temperature, a possibility is available to adapt the volume of air to the lower throughput rate. Through the reduction of the volume of drying air, the hot gas temperature can be held at a high temperature or near the design point. As described above, the low specific fuel requirement is achieved even at minimum load.

Fluidized bed dryers do not offer this possibility as even at minimum rate the full drying air volume must be maintained in order to effectively fluidize the solids. In vibration fluidized bed dryers, effective solids fluidization with the drying air is the precondition for reliable solids transport and a good aeration of the solids bed. Drum dryers, on the other hand, convey the solid material by means of the internal fittings and the rotation of the drum.

The solid material in drum dryers does not have to be fluidized by the drying air. The air therefore flows unhindered through the dryer chamber. Besides fluidizing the solid material, the supply air fans of fluidized bed dryers, however, must overcome the pressure loss of the gas distributor base, which has to be sufficiently high to ensure an even distribution of the drying air over the entire dryer cross-section. The specific electric energy requirement of drum dryers is therefore low and usually only reaches around 2/3 of the electrical energy consumption of a fluidized bed dryer.

The MOZER® system dryers are available in a single-shell design (continuous dryers), but, thanks to their horizontal orientation, also as double- and triple-shell dryers. The use of double- or triple-shell dryers is dependent on the space available and the necessary solids residence time.

When the solid material must be cooled immediately after drying, the use of a double-shell dryer can be recommended for combined drying and cooling in a single unit. Drying only takes place in the inner dryer chamber. The dried and

Vibrations-Fließbettrocknern Voraussetzung für einen zuverlässigen Feststofftransport und eine gute Belüftung der Feststoffschüttung. Trommelrockner dagegen fördern den Feststoff durch die Einbauten und durch die Drehung der Trommel.

Der Feststoff in Trommelrocknern muss nicht durch die Trocknungsluft fluidisiert werden. Die Luft strömt relativ ungehindert durch das Trocknerrohr. Die Zuluftventilatoren eines Fließbettrockners müssen dagegen neben der Fluidisierung des Feststoffes außerdem den Druckverlust des Gasverteilerbodens überwinden, der für eine gute Gleichverteilung der Trocknungsluft über die gesamte Trocknerquerschnittsfläche ausreichend hoch sein muss. Der spezifische Elektroenergiebedarf von Trommelrocknern ist deshalb gering und liegt meist bei nur ca. 2/3 des Elektroenergieverbrauches eines Fließbettrockners.

Trommelrockner nach dem System MOZER® stehen in einschaliger Bauweise (sogenannte Durchlaufrockner), wegen der waagerechten Ausrichtung aber auch als Zweizug-Trockner und als Dreizugrockner zur Verfügung. Der Einsatz von Zwei- oder Dreizugrocknern kann von den vorhandenen Platzverhältnissen und der notwendigen Feststoffverweilzeit abhängig gemacht werden.

Immer dann, wenn die zu trocknenden Feststoffe nach der Trocknung sofort gekühlt werden sollen, empfiehlt sich der Einsatz eines zweischaligen Trockners zur kombinierten Trocknung und Kühlung in einem einzigen Aggregat. Die Trocknung findet dann nur im inneren Trommelrohr statt. Der getrocknete und warme Feststoff fließt aus der Innentrommel in die äußere Schale und wird durch entsprechend geformte Hub- und Leitschaukeln zurück gefördert, während angesaugte kalte Umgebungsluft den Feststoff im Gegenstrom kühlt (Bild 3).

Mit dem System MOZER®-TK lassen sich gekühlte Trocken-
guttemperaturen von ca. 55 °C bis 60 °C erreichen, was in den meisten Anwendungen der Bau- und Mineralstoffindustrie und speziell der Fertigmörtelindustrie ausreichend ist. Werden noch niedrigere gekühlte Feststofftemperaturen gefordert, kommt eine separate Kühltrommel, ein nachgeschalteter, wassergekühlter Kontaktkühler oder ein Fließbettkühler zum Einsatz.

Eine energetisch besonders effiziente Trockenkühltrommel ist das System MOZER® „TK_plus“, welche vorwiegend zur Trocknung und Kühlung von Quarzsanden zum Einsatz kommt (Bild 4). Im Unterschied zum System TK wird die Kühlung des Sandes nicht mit Umgebungsluft erreicht, sondern erfolgt durch die Zumischung eines Anteiles feuchten Sandes in den bereits getrockneten warmen Sand nach Durchlaufen der Innentrommel. Die Kühlung des Feststoffes wird durch die Verdunstung des Wassers aus dem zugemischten Feuchtgut bewirkt, während dieser zugemischte Feststoffanteil durch die in der getrockneten Feststoff-Hauptmenge gespeicherten Wärme ebenfalls getrocknet wird.

Das Feuchtgut wird bei der „TK_plus“ beidseitig aufgegeben. Das Verhältnis zwischen beiden Feststoffströmen liegt



5 Trocken-Reinigungstrommel System MOZER®-TRH
MOZER®-TRH system drying-cleaning drum

warm solid flows out of the inner drum into the other shell and is conveyed back with appropriately shaped lifting and guide blades, while sucked-in cold ambient air cools the solid material in a counter flow (Fig. 3).

With the MOZER® -TK system, cooled dried material temperatures of around 55 °C to 60 °C can be obtained, which is sufficient in most applications in the construction materials and minerals industries and especially in the ready-mixed mortar industry. If even lower cooled solid material temperatures are required, a separate cooling drum, a downstream, water-cooled contact cooler or a fluidized bed cooler is used.

An especially energy-efficient drying and cooling drum is the MOZER® “TK_plus” system, which is used predominantly for cooling and drying silica sands (Fig. 4). Unlike the TK system, the sand is not cooled with ambient air, but by mixing part of the moist sand into the already dried warm sand after it travels through the inner drum. The cooling of the solid material is achieved by the evaporation of the water from the mixed-in wet material, while this mixed solid material is also dried by the heat stored in the main quantity of the dried material.

With the “TK_plus”, the wet material is fed to the dryer on both sides. The ratio between the two flows of the solid material is – depending on the starting moisture content of the sand – between around 80 % and 90 % primary flow relative to 10 % to 20 % of the mixed in flow of solid material. With this dryer-cooler variant, the fuel requirement of the drying process can be reduced by around 15 %.

Although the equipment required for a “TK_plus” dryer is somewhat more extensive than that for a TK – on account of the necessary division of the flow of wet material, and the overall plant is consequently more expensive in terms of investment, the investment pays off quite quickly especially in times of rising energy costs, saves costs long-term and therefore makes a contribution to climate protection.



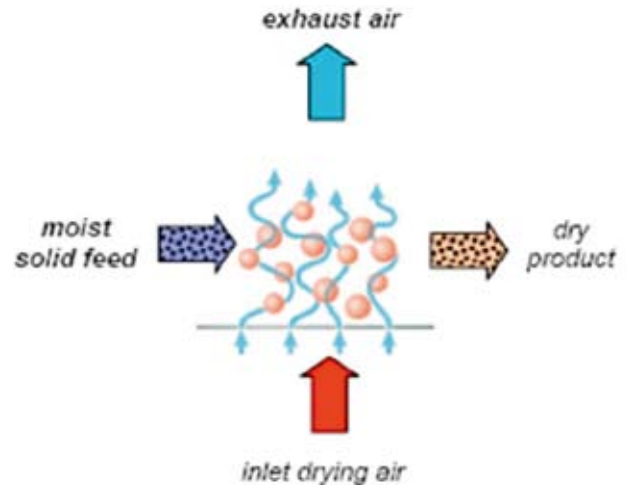
6 Fließbettrockner/Kühler für Mineralien
Fluidized bed dryer/cooler for minerals

abhängig von der Eintrittsfeuchte des Sandes zwischen etwa 80 % und 90 % Hauptmengenstrom in Relation zu 10 % bis 20 % des zugemischten Feststoffstromes. Durch diese Trockner-Kühlervariante lässt sich der Brennstoffbedarf der Trocknung um etwa 15 % reduzieren.

Wenn auch der apparative Aufwand einer „TK_plus“ im Vergleich zu einer TK wegen der notwendigen Aufteilung des Feuchtgutstromes etwas höher und die Gesamtanlage in der Anschaffung damit etwas teurer ist, so amortisiert sich gerade in Zeiten steigender Energiekosten die Investition doch zügig, spart langfristig Kosten und leistet damit einen Beitrag zum Klimaschutz.

Eine ebenfalls besonders energieeffiziente Sonderanwendung stellt die patentierte Trockenreinigungstrommel MOZER®-TRH dar (Bild 5). Das System kommt zur Trocknung von Kalkstein zur Anwendung, wenn neben der Trocknung ein gleichzeitiger Reinigungseffekt erreicht werden soll. Häufig ist der aus Steinbrüchen gewonnene Kalkstein mit Ton oder Lehm verschmutzt und muss vor der Beschickung von Kalköfen zur Kalzinierung und Herstellung von Brandkalk aufwändig gewaschen werden. Dadurch nimmt der Kalkstein große Mengen von Wasser auf, welche nachfolgend sehr energieintensiv herausgetrocknet werden müssen.

Im Allgaier-Trommelrockner System MOZER®-TRH wird der verschmutzte Kalkstein in einem aufgeweiteten Bereich des Trockners am Ende der Trommel verweilt. Von dem in der Trommel vor- und in dem aufgeweiteten Bereich durchgetrockneten Kalkstein lösen sich die ton- oder lehmhaltigen Verschmutzungen bei erhöhten Temperaturen ab und werden mit der Abluft ausgeblasen oder über eine nachgeschaltete Siebung abgetrennt. Bei geeigneten Kalksteinsorten kann so auf eine Waschung verzichtet werden, wodurch eine bedeutende Energieeinsparung erzielt wird.



7 Idealfall der Feststofffluidisierung und -strömung in einer gut fluidisierten Wirbelschicht
Ideal case of solid material fluidization and flow in an efficiently fluidized bed

Another especially energy-efficient special application is the patented MOZER®-TRH drying-cleaning drum (Fig. 5). The system is used to dry limestone when a cleaning effect is required in addition to drying. Often limestone extracted at quarries is soiled with clay and loam and must be washed in an expensive process prior to feeding to lime kilns for calcination and the production of quick lime. As a result of this washing, the lime absorbs large quantities of water, which must be subsequently dried out in a very energy-intensive process.

In the Allgaier MOZER®-TRH drum dryer system, the soiled limestone resides in a widened section of the dryer at the end of the drum. The clay or loam dirt is loosened from the limestone that is predried in the drum and dried through completely in the widened section at increased temperatures, and is then blown out with the exhaust air or removed on a downstream screen. For appropriate types of limestone, washing is not necessary, so that a significant energy saving can be achieved.

2 Advantages and disadvantages of drum dryers

To sum up, drum dryers have the following advantages:

- Suitable both for coarse and fine solids
- Largely insensitive even to very coarse or heavy solids
- Minimal cost and effort for the supplied air equipment with direct installation of the burner at the dryer casing
- Insensitive to
 - Changes in the particle size,
 - Variations in the moisture content and the throughput,
 - Cut-out of the drying air
- Low specific electrical energy requirement
- High drying air temperatures combined with low heat losses
- Low heating energy requirement even when drying only partial loads by adjustment of the exhaust air volume
- Simple installation and fast commissioning
- Tolerance to operating faults

2 Vor- und Nachteile von Trommelrocknern

Zusammenfassend haben Trommelrockner folgende Vorteile:

- Eignung sowohl für grobe als auch für feine Feststoffe
- Weitestgehend unempfindlich auch gegen sehr grobe oder schwere Feststoffe
- Minimaler Aufwand für die Zuluftausrüstungen durch Direktmontage des Brenners am Trocknergehäuse
- Unempfindlichkeit gegen
 - Änderungen der Körnung,
 - Schwankungen der Feuchte und des Durchsatzes,
 - Ausfall der Trocknungsluft
- Geringer spezifischer Elektroenergiebedarf
- Hohe Trocknungslufttemperaturen in Verbindung mit geringen Wärmeverlusten
- Niedriger Heizenergiebedarf auch im Teillastbereich durch Anpassung der Abluftmenge
- Einfache Montage und schnelle Inbetriebnahme
- Toleranz gegen Fehlbedienungen
- Sehr robuste und dickwandige Ausrüstungen mit langer Lebensdauer
- Außenaufstellung unter härtesten Bedingungen ist üblich
- Geringer Verschleiß und geringer Ersatzteilbedarf

Als mögliche Nachteile von Trommelrockneranlagen sind zu nennen:

- Schwere Ausrüstungen durch dickwandige Ausführung der Trommel
- Die kombinierte Kühlung in zweischaligen Trockentrommeln ist auf Feststofftemperaturen von 55 °C bis 60 °C am Trockneraustritt limitiert
- Die Gestaltung der Einbauten von Trockentrommeln bedarf langjähriger Erfahrung
- Feststoffe werden im Trommelrockner teilweise, jedoch nicht vollständig entstaubt
- Gegenstrom-Anwendungen sind auf grobkörnige Güter beschränkt

3 Funktionsprinzipien von Fließbettrocknern

Der Feststofftransport in Fließbettrocknern basiert auf der Fluidisierung des Feststoffes durch die aufwärts gerichtete Trocknungsluft. Bei einer gut fluidisierten Wirbelschicht wird der gesamte Feststoff durch die Luftströmung in einen quasi-flüssigen Zustand versetzt und läuft am Ende des Trockners in der Menge über ein Überlaufwehr wie feuchter Feststoff am Trocknereintritt zugeführt wird. Der Feststoff fließt dabei im Kreuzstrom zur aufwärts gerichteten Luftströmung. Das Überlaufwehr ist höhenverstellbar ausgeführt und ermöglicht durch die Beeinflussung der Höhe der fluidisierten Schicht eine Anpassung der Feststoffverweilzeit. **Bild 6** zeigt eine Fließbett-Anlage zur Trocknung und Kühlung von Mineralien mit einer Feststoffleistung von bis zu 65 t/h. Im Idealfall werden in einer Wirbelschicht alle Feststoffpartikel ständig vom Luftstrom umströmt. Dann ergeben sich beste Stoff- und Wärmeübergangsbedingungen, und es werden hohe spezifische Trocknungsraten bzw. relativ kleine Trocknerabmessungen möglich (**Bild 7**).

Da dieser Idealzustand in der Praxis nur selten erreicht werden kann, werden Fließbettrockner zur Unterstützung der Feststofffluidisierung als Vibrationstrockner gebaut. Durch

- Very rugged and thick-walled equipment with a long life-time
- Outdoor installation in the toughest conditions is common
- Low wear and low replacement part requirement

Possible disadvantages of drum dryers are:

- Heavy equipment on account of the thick-walled design of the drum
- The combined cooling in double-shell drying-cooling drums is limited to solid material temperatures of 55 °C to 60 °C at the dryer exit
- Design of the internal fittings in drum dryers requires many years of experience
- Solid materials are partially but not completely dedusted in the drum dryer
- Counterflow applications are limited to coarse-grained materials

3 Principle of operation of fluidized bed dryers

Solid material transport in fluidized bed dryers is based on a fluidization of the solid by upward currents of drying air. In an efficiently fluidized bed, the entire solid material is rendered into a quasi-fluid state by the air currents. At the end of the dryer, the same volume of solid runs over an overflow weir as wet solid material is added at the entry of the dryer. The solid material flows in a countercurrent to the upward current of air. The overflow weir is height-adjustable and, by the influencing of the height of the fluidized bed, enables adjustment of the solid material residence time. **Fig. 6** shows a fluidized bed system for drying and cooling minerals with a solid material rate up to 65 t/h. In the ideal case, in a fluidized bed air constantly flows round all the solid material particles. This results in the best material and heat transfer conditions, so that high specific drying rates and relatively small dryer dimensions are possible (**Fig. 7**).

As this ideal state can only be seldom achieved in the field, fluidized bed dryers are built as vibration dryers to support solid material fluidization. Thanks to the vibration, even coarse particles that cannot be fluidized by the current of air itself are transported. This, however, is subject to certain limitations. Depending on the particle size distribution and bulk density of the solid material to be dried, the use of fluidized bed dryers is only to be recommended for particle sizes up to around 6 mm, or a maximum of 8 mm. Coarse material can otherwise accumulate in the dryer, as it cannot flow off over the retaining weir at the end of the dryer. If, to avoid damming up of the coarse material, no weir is installed at the dryer discharge, the solid material residence time can no longer be varied by adjusting the bed height, or the then poorly fluidized solid material is no longer sufficiently aerated.

Generally, the air director plates have to be designed with a sufficiently high pressure loss, to ensure an even distribution of the total drying air over the entire air flow area of the dryer. The fans for the drying air therefore have to exhibit high compression. Otherwise the air seeks the path of the least resistance through the bed of solid material in the dryer, leading to a poor flow of the air especially through the

die Vibration werden auch grobe, durch den Luftstrom selbst nicht fluidisierbare Grobpartikel gefördert. Dies hat jedoch Grenzen. Je nach Kornverteilung und Schüttdichte des zu trocknenden Feststoffes ist der Einsatz von Fließbettrocknern nur bis Körnungen von etwa 6 mm, maximal 8 mm zu empfehlen. Grobgut kann sich ansonsten im Trockner akkumulieren, da es nicht über das Stauwehr am Trocknerende abfließen kann. Verzichtet man zur Vermeidung der Grob-
gutanstauung auf ein Wehr am Trocknerausstrag, so ist die Feststoffverweilzeit nicht mehr über die Einstellung einer Schichthöhe variierbar, oder der dann schlecht fluidisierte Feststoff wird nicht mehr gut belüftet.

Generell sind die Luftanströmböden mit ausreichend hohem Druckverlust auszulegen, um eine gute Gleichverteilung der gesamten Trocknungsluft über die komplette Anströmfläche des Trockners zu erreichen. Die Ventilatoren für die Trocknungsluft müssen also eine hohe Pressung aufweisen. Andernfalls sucht sich die Luft den Weg des geringsten Widerstandes durch die Feststoffschüttung im Trockner, was zu einer schlechten Durchströmung besonders der feuchten Feststoffbereiche führt. Aus diesem Grund haben Fließbettrockner einen auf die Feststoffleistung bezogenen, höheren Energieverbrauch (ca. 150 % eines Trommelrockners).

Fließbettrockner sollten möglichst immer mit vorwiegend feinkörnigen Feststoffen beschickt werden, für die sie ausgelegt worden sind. Führt man z. B. durch eine Produktionsumstellung wesentlich gröbere Feststoffe zu, so kann die Fluidisierung zusammenbrechen. Ein effizienter Trocknerbetrieb kann dann unter Umständen unmöglich werden.

Durch die ständige Umströmung eines jeden Feststoffpartikels mit Luft, können empfindliche Feuchtgranulate aus Granuliertellern oder Mischer-Granulatoren sehr schonend in Wirbelschichten getrocknet werden. Trommelrockner führen durch das ständige Schaufeln und Fallen des Gutes zu einem höheren Materialabrieb als Fließbettrockner.

Fließbettrockner werden wie Trommelrockner meist durch ein Konstant-Halten der Temperatur der Trocknerabluft geregelt. Ein Regelkreis beeinflusst abhängig von der Ablufttemperatur den Wärmeeintrag des Lufterhitzers in die Trocknungsluft und reagiert so auf schwankende Mengen oder Wassergehalte des zugeführten Feuchtgutes. Da die Trocknerabluft im engen Zusammenhang mit der Feststofftemperatur am Trocknerende steht und diese über die Sorptionseigenschaften eines jeden Feststoffes deren Restfeuchte bestimmt, lassen sich so jederzeit konstante Restfeuchten des zu trocknenden Feststoffes gewährleisten. Allerdings steigt der spezifische Brennstoffbedarf je Tonne Trockengut an, wenn bei dauerhaft geringerer Eintrittsfeuchte oder Menge des zu trocknenden Feuchtgutes die Trocknungsanlage nicht in seinem ursprünglichen Auslegung entsprechenden Leistungspunkt betrieben wird. Da die Luftmenge in einem Fließbettrockner wegen der notwendigen Feststoff-Fluidisierung konstant gehalten werden muss, geht mit der Abluft also trotz geringerer Anlagenleistung immer die gleiche absolute Wärmemenge verloren. Ein Abregeln der Luftmenge wie bei Trommelrocknern zur Aufrechterhaltung der energetisch sinnvollen



8 Fließbettrockner zur Trocknung von Kunststoffrecyclat mit Erdgas-Flächenbrenner als Heißlufterzeuger
Fluidized bed for drying plastic recycle with natural gas surface burners as hot air generators

wet areas of the solid material. For this reason, fluidized bed dryers have a higher electrical energy consumption relative to the solid material throughput rate (approx. 150 % of that of a drum dryer).

Fluidized bed dryers should possible be fed with the predominantly fine-grained solid materials for which they have been designed. If, for example, on account of a product changeover, much coarser solids are fed to the dryer, fluidization can collapse. Efficient dryer operation can become impossible under certain circumstances.

Thanks to constant flowing of air around every solid particle, sensitive wet granulate from granulating plates or combined mixer-granulators can be dried very gently in fluidized beds. On account of the constant lifting of the material by the blades and its subsequent falling, drum dryers lead to higher material abrasion than in fluidized bed dryers.

Like drum dryers, fluidized bed dryers are usually controlled by a constant holding of the temperature of the dryer exhaust air. Depending on the exhaust air temperature, a control circuit influences the heat input of the air heater into the drying air and in this way reacts to the varying volumes or water content of the wet material feed. As the dryer exhaust air is closely related to the solids temperature at the end of the dryer and this determines the residual moisture content of every solid material based on its sorption behaviour, a constant residual moisture content of the solid to be dried can be guaranteed at all times. However, the specific fuel requirement per tonne of dried material increases when the dryer is not operated at the optimum operating point of its original design owing to a lower starting moisture content or volume of the wet solids to be dried over a long period. As the volume of air in a fluidized dryer must be kept constant on account of the necessary solids fluidization, the same absolute quantity of heat is lost with the exhaust air, i.e. despite the lower plant throughput rate. Regulation of the air

hohen Trocknungslufttemperatur ist bei Fließbettrocknern also nicht sinnvoll möglich.

Der Elektroenergieverbrauch von Fließbettrocknern bleibt auch im Teillastbetrieb konstant und führt zu erhöhten spezifischen Elektroenergieverbräuchen. Fließbettrockner sollten also möglichst immer bei konstanten Bedingungen und möglichst immer nahe der ausgelegten Volllast betrieben werden. Da in der Mineralstoffindustrie häufig über den Jahresverlauf mit schwankenden Feuchten der zu trocknenden Feststoffe zu rechnen ist, ist es besonders wichtig, in der Planungsphase einen guten Kompromiss zwischen der gewünschten maximalen Feststoffleistung und der erwarteten durchschnittlichen Anfangsfeuchte der Güter zu finden. Ein Anlagendesign mit Reserven der Feststoffleistung sowie der Anfangsfeuchte ist bezüglich des späteren spezifischen Energieverbrauches meist kontraproduktiv. Das ist besonders auch bei Investitionen im entfernten Ausland von Bedeutung, wenn nicht sichergestellt werden kann, dass die Anlagen immer unter gleichbleibenden Bedingungen betrieben werden können.

Die Beheizung von Fließbettrocknern erfolgt durch in den Luftkanal des Zuluftsystems eingebaute Heißluftherzeuger. Bei Verwendung von Erdgas eignen sich besonders sogenannte Flächenbrenner (Bild 8), die wegen der leichten Bauweise wenig Wärme speichern und schnell auf Regelsignale reagieren. In der chemischen und Recycling-Industrie kommen häufig dampfbeheizte Wärmetauscher zum Einsatz.

Trockner-Kühlervarianten lassen sich in Fließbetten komfortabel realisieren, indem Umgebungsluft in eine zusätzliche Kühlzone geführt wird. Der Trockner wird dadurch länger und benötigt neben dem Ventilator für die Trocknungsluft einen zusätzlichen Ventilator für die Kühlluft. Auf diese Weise ist es je nach Umgebungstemperaturen möglich, Trocknungstemperaturen von z. B. 40 °C oder gar 30 °C zu erreichen. Nicht vergessen werden darf allerdings, dass auch die Kühlung sowohl die Anlage in der Investition verteuert als auch Energie im Anlagenbetrieb verbraucht. Man sollte also immer nur auf für die nachfolgenden Prozesse technologisch unbedingt notwendigen Temperaturen kühlen.

Eine sinnvolle Möglichkeit zur Energierückgewinnung bietet sich bei Fließbettrocknern durch die Rückführung der warmen, gefilterten Abluft der Kühlzone zur Verwendung als vorgewärmte Trocknungsluft – insbesondere dann, wenn eine gute Balance zwischen der Menge der Trocknungsluft und der Menge der Kühlluft erreicht werden kann. Im Idealfall kann so die komplette Wärme aus der Feststoffkühlung für die Trocknung verwendet werden. Der Energieverbrauch sinkt dann um den Anteil Brennstoff, der ohne Abluft-rückführung zur Aufwärmung von Umgebungsluft auf die Temperatur der rückgeführten Kühlerabluft notwendig wäre. Bei allen Trockner-Kühlervarianten tritt eine erste Kühlung des warmen Feststoffes unmittelbar nach der Trocknung dadurch auf, dass nach Eintritt des warmen Feststoffes zunächst eine Restmenge Feuchtigkeit verdampft. Die Nach Trocknung im ersten Bereich der Kühlzone erfolgt durch die noch im Feststoff gespeicherte Wärme – ähnlich wie bei der Trockenkühltrommel TK_plus.

volume as in drum dryers to maintain the high drying air temperature favourable in terms of energy efficiency is therefore not sensibly possible with fluidized bed dryers.

The electrical energy consumption of fluidized bed dryers remains constant even with partial loads and leads to increased specific electrical energy consumptions. Fluidized bed dryers should therefore be always operated in constant conditions and close to their design full load. As in the minerals industry, frequently fluctuating moisture contents of the solids to be dried must be expected in the course of a year, it is particularly important in the planning phase, to find a good compromise between the required maximum solids rate and the expected average starting moisture content of the feed materials. Plant design with reserves for the solids throughput rate as well as the starting moisture content is usually counterproductive with regard to the later specific energy consumption. That is important, particularly for investments in remote areas overseas when it is not always possible to operate the plants in constant conditions.

Fluidized bed dryers are heated by means of hot air generators installed in the air duct of the supplied air system. For the use of natural gas, particularly surface burners (Fig. 8) are suitable, which on account of their lightweight construction store limited heat and react quickly to control signals. In the chemical and recycling industries, steam-heated heat exchangers are often used.

Dryer-cooler variants can be comfortably realized in fluidized beds, by feeding ambient air into an additional cooling zone. The dryer is longer as a result and needs, in addition to the fan for the drying air, an extra fan for the cooling air. In this way, depending on the ambient temperatures, it is possible to reach dried material temperatures of, for example, 40 °C or even 30 °C. It should not be forgotten, however, that the cooling makes investment in the plant more expensive as well as consuming additional energy in plant operation. Cooling should therefore only ever be performed to the temperatures that are technologically necessary for the downstream processes.

One sensible possibility for recovering energy in fluidized bed dryers is the recirculation of the warm, filtered exhaust air from the cooling zone for use as preheated drying air – especially then when a good balance can be obtained between the volume of the drying air and the volume of the cooling air. In the ideal case the entire heat from the solid material cooling can be used for drying. The energy consumption is then reduced by the part of the fuel that would be needed without the recirculation of the exhaust air for heating ambient air to the temperature of the recirculated cooler exhaust air. With all dryer-cooler variants, the warm solid material undergoes initial cooling immediately after drying with a residual quantity of moisture evaporating after entry of the warm solid material. The re-drying in the first part of the cooling zone is effected with the heat still stored in the solid material – similar to the TK_plus drying and cooling drum.

In many mineral drying applications, an optimal balance results already at a drying air temperature of approx. 400 °C

Eine optimale Balance ergibt sich in vielen Anwendungen der Mineralstoff-Trocknung schon bei einer Trocknungslufttemperatur von ca. 400 °C und einer Kühlung des getrockneten Feststoffes auf beispielweise 45 °C. In der Regel ist es nicht sinnvoll, Fließbettrockner auf überhöhte Trocknungslufttemperaturen bis z. B. 600 °C auszulegen. Die Kühlerabluft kann dann meist nicht komplett als Trocknungsluft zurückgeführt werden. Mit einer sehr hohen Temperatur der Trocknungsluft reduziert sich zwar die notwendige Trocknungsluftmenge und verkleinert damit die Trocknerquerschnitts- bzw. Anströmfläche. Allerdings ist in einem kleineren Trockner auch die Verweilzeit des Feststoffes in der Trocknungszone geringer. Besonders bei groben und bei porösen Feststoffen oder bei einer Veränderung der Trockenguteigenschaften kann deshalb leicht eine kritische Grenze unterschritten werden. Dann wird die Restfeuchte des Trockengutes wegen zu geringer Feststoffverweilzeit nicht mehr erreicht oder die Durchsatzleistung des Trockners sinkt. Mindestens jedoch verliert die Trocknungsanlage an Flexibilität gegen die in der Praxis üblichen produktionstechnischen Schwankungen.

and a cooling of the dried solid material to, for example, 45 °C. It is generally not sensible to design fluidized bed dryers for drying air temperatures up to, for example, 600 °C. The cooler exhaust air can then generally not be recirculated completely as drying air. With a very high temperature of the drying air, the necessary volume of drying air is reduced and the dryer cross-section and air director surface are smaller. However, in a smaller dryer, the residence time of the solid material in the drying zone is shorter. Especially for coarse and porous solid materials or in the case of changes in the drying material properties, it can easily be the case that a critical limit is not reached. Then the required residual moisture content of the material being dried is no longer achieved because the solid material residence time is too short or the throughput rate of the dryer falls. At least, however, the dryer loses the flexibility to handle the production fluctuations common in practice.

Another argument against drying air temperatures being too high in fluidized bed dryers is their thin-walled structure as well as the necessity of vibration decoupling with flexible joints (compensators) between the air pipes and the dryer.

Tabelle 1: Vergleich der technischen Daten zwischen einem Trommelrockner-Kühler und einem Fließbettrockner-Kühler
Table 1: Comparison of the technical data of a drum dryer-cooler and a fluidized bed dryer-cooler

Charakterisierung des Natursandes/Characterization of the natural sand		30 t/h Trockengutleistung 30 t/h dried material rate
Körnung/Particle sizes		0 ... 4 mm
Eingangfeuchte des Sandes/Starting moisture content of the sand		7 % Wasser / water
Feuchtguttemperatur/Wet material temperature		10 °C
Umgebungstemperatur/Ambient temperature		20 °C
Spezifische Wärmekapazität des Sandes (trocken)/Specific heat capacity of the sand (dry)		0.8 kJ/kgK
Heizwert des Brennstoffes (Erdgas)/Calorific value of the fuel (natural gas)		37 200 kJ/m ³ i. N./ (reg. operation)
Restfeuchte nach der Trocknung/Residual moisture content after drying		0.5 % Wasser/water
Wasserverdampfungsleistung/Water evaporation rate		2 100 kg/h
Gewünschte Temperatur des Sandes nach der Kühlung/Required temperature of the sand after cooling		60 °C
Vergleich der technischen Daten/Comparison of the technical data		
	Trommelrockner System Mozer® TK Mozer® TK drum dryer	Fließbettrockner WS-V-T/K WS-V-T/K fluidized bed dryer
Länge des Trockner/Kühlers/Length of the dryer/cooler	11 m	8 m
Abluftmenge/Volume of exhaust air	30 000 m ³ /h	34 000 m ³ /h
Heizleistung/Heating rate	2 350 kW	2 200 kW
Gasverbrauch (Normzustand)/Gas consumption (standard conditions)	227 m ³ /h i. N. / reg. operation	215 m ³ /h i. N. / reg. operation
Brennertyp/Burner type	Gasbrenner für Direktmontage am Trocknergehäuse Gas burner for direct installation at the dryer casing	Flächenbrenner für Kanaleinbau im Zuluftsystem Surface burner for duct installation in the air supply system
Spezifischer Gasverbrauch je Tonne Trockengut Specific gas consumption per tonne of dried material	7.6 m ³ i. N./t / reg. operation	7.2 m ³ i. N./t / reg. operation
Elektroenergieverbrauch netto/Electrical energy consumption net	60 kW	90 kW
Anzahl Ventilatoren/Number of fans	1	3
Elektrische Anschlußleistung/Connected electric power	90 kW	125 kW
Spezifischer Elektroenergieverbrauch je Tonne Trockengut Specific electrical energy consumption per tonne of dried material	2.0 kW/t	3.0 kW/t
Dauer der Inbetriebnahme und Anlagenoptimierung Time required for commissioning and dryer optimization	3 Tage/3 days	5 bis 8 Tage/5 to 8 days

Ein weiteres Argument gegen zu hohe Trocknungslufttemperaturen bei Fließbettrocknern sind deren eher dünnwandige Apparatekonstruktionen sowie die Notwendigkeit der Schwingungsentkopplung durch flexible Verbindungen (Kompensatoren) zwischen der lufttechnischen Verrohrung und dem Trockner. Zu hohe Temperaturen in Verbindung mit den ständigen Belastungen durch die Apparatevibration können mittelfristig zu Materialversagen führen, was die Lebensdauer der Ausrüstungen reduziert.

Energetisch optimale Energieverbräuche werden bei Fließbettrocknern besonders dann ermöglicht, wenn aus verschiedenen Gründen nur geringe Trocknungslufttemperaturen möglich sind, z. B. weil die Feststoffe nur geringe Trocknungslufttemperaturen vertragen oder als Energieträger zur Beheizung der Trocknungsluft Dampf eingesetzt werden soll. Damit sind Fließbettrockner besonders in der chemischen Industrie sowie zur Verarbeitung oder dem Recycling temperaturempfindlicher Produkte sinnvoll einzusetzen. In diesen Branchen findet man außerdem meistens konstante Eingangsfeuchten der zu trocknenden Stoffe sowie konstante Durchsatzleistungen vor, was einen ständigen Anlagen-

Temperatures that are too high in combination with the constant loads from the vibration of the equipment can lead to material failure in the mid-term, shortening the lifetime of the equipment.

Energy-optimized energy consumption is enabled in fluidized bed dryers especially when, for various reasons, only low drying air temperatures are possible, e. g. because the solid material can only withstand low drying air temperatures or when steam is to be used as the energy source for heating drying air. Accordingly, fluidized bed dryers can be sensibly used especially in the chemicals industry or for processing or recycling temperature-sensitive products. In these industries, usually a constant starting moisture content of the materials to be dried as well as constant throughput rates are found, which enables constant dryer operation at its energy-optimal design point.

For new applications and product development, a vibration dryer is available for all interested customers at the ALLGAIER testing centre. This enables professional tests and reliable scale-up from the data obtained.

Tabelle 2: Argumente zur Auswahl des geeigneten Trocknertyps
Table 2: Arguments for the selection of the most suitable type of dryer

Argumente für die Verwendung eines Trommelrockners/-Kühlers Arguments for using a drum dryer/cooler	Argumente für die Verwendung eines Fließbettrockners/-Kühlers Arguments for using a fluidized bed dryer/cooler
Trocknung von Feingut, Grobgut sowie sehr groben Gütern ist möglich Drying of fine, coarse as well as very coarse materials possible	Trocknung von Feingut 0..4 mm mit Anteilen bis max. 0...6 mm Drying of fines 0..4 mm with content to max. 0...6 mm
Ungleichmäßige Partikelgrößenverteilung Non-uniform particle size distribution	Eher gleichmäßige Körnungen / Generally uniform particle sizes
Unstetige Feststoffqualität / Non-uniform solids quality	Gleichmäßige Feststoffqualitäten / Uniform solids qualities
Sehr hohe Trocknungslufttemperaturen möglich Very high drying air temperatures possible	Geeignet auch für temperaturempfindliche Güter Also suitable for temperature-sensitive materials
Verwendung direkter Gas- oder Ölbrenner Use of direct gas or oil burners	Flächenbrenner oder dampfbeheizte Wärmetauscher im Zuluftsystem / Surface heaters or steam-heated heat exchangers in the air supply system
Kühlung auf 55 .. 60°C ausreichend oder keine Kühlung notwendig Cooling to 55...60°C sufficient or no cooling necessary	Kühlung auf 40 ... 45 °C erforderlich Cooling to 40 ... 45 °C required
Dickwandige Ausführung und spezielle Gestaltung der Einbauten für besonders abrasive Güter / Thick-walled model and special design of the internal fittings for particularly abrasive materials	Schonende Behandlung für besonders empfindliche Produkte aus vorgeschalteten Granuliereinrichtungen / Gentle treatment for particularly sensitive products from upstream granulation equipment
Wechselnde Durchsatzleistungen und schnelle Lastwechsel zu erwarten / Changing throughput rates and fast load changes to be expected	Gleichmäßige Durchsatzleistungen nahe am Auslegungszustand Uniform throughput rates close to design specification
Normalstahlanwendungen ausreichend Mild steel application sufficient	Preiswerte Edelstahl Ausführungen für Chemie und Lebensmittelindustrie / Low-price stainless steel designs for the chemicals and foodstuffs industry
Kein Platz für ein aufwändiges Zuluftsystem No space for a complex supplied air system	
Einfache anlagentechnische Lösung für Übersee und Entwicklungsregionen gewünscht / Simple dryer solution for overseas and developing regions required	Konstante Produktionsbedingungen in gut entwickelter Infrastruktur Constant production conditions in well-developed infrastructures
Trocknung von Kalkstein mit gleichzeitiger, trockener Reinigung Drying of limestone with simultaneous dry cleaning	Definierte Entstaubung (Entfüllerung) gewünscht Defined dedusting (filler reduction) required
Außenaufstellung als Standard Outdoor installation as standard	Innenaufstellung oder Überdachung empfohlen Indoor or covered installation recommended

betrieb im energetisch optimalen Auslegungspunkt der Trockner ermöglicht.

Für neue Anwendungen und Produktentwicklungen steht im ALLGAIER-Technikum allen interessierten Kunden eine Vibrationstrockner-Anlage zur Verfügung, die professionelle Versuche und ein sicheres scale-up aus den gewonnenen Daten ermöglicht.

4 Vor- und Nachteile von Fließbettrocknern

Zusammenfassend haben Fließbettrockner folgende Vorteile:

- Intensiver Stoff- und Wärmeübergang durch das Wirbelschichtprinzip
- Kreuzstrom zwischen Feststoff und Trocknungsluft
- Kontrollierte Entstaubung des Feststoffes während der Trocknung und Kühlung möglich
- Geringes Gewicht durch dünnwandige Apparatekonstruktion
- Dadurch preiswerte Edelstahlausführungen möglich
- Trockner-Kühler-Varianten ermöglichen bei Wärmerückgewinnung durch Rückführung der Kühlerabluft einen geringen Brennstoffbedarf
- Niedrige Feststofftemperaturen sind möglich (ca. 10 K oberhalb der Kühllufttemperatur)
- Sonderanwendungen zum Coating, Agglomeration und Granulation, Kalzination, Röstung usw.

Nachteile von Fließbettrocknern können sein:

- Optimal geeignet nur für feinkörnige Güter bis ca. 4 mm
- Limitierte Trocknungslufttemperaturen
- Empfindlichkeit gegen abrupte Änderungen der Feststoffkörnigkeit, der Feuchte und des Durchsatzes oder Ausfall der Trocknungsluft
- Relativ hoher Elektroenergiebedarf
- Aufwändiges Zuluftsystem aus Ventilatoren, Verrohrung und separatem Heißgaserzeuger nötig
- Signifikanter Aufwand zur Inbetriebnahme und Parameteroptimierung

5 Vergleich der technischen Daten zwischen Trommeltrockner und Fließbettrockner

Ein Beispiel soll die Unterschiede zwischen den technischen Daten und den Energieverbräuchen einer Trommeltrockneranlage System MOZER® TK und einer Fließbettrockner/Kühleranlage verdeutlichen (Tabelle 1). Dabei ist bewusst eine Anwendung ausgewählt worden, für welche aus rein technischer Sicht (z. B. die angestrebte Trockenguttemperatur) sowie aus Sicht der Feststoffkörnigkeit (0...4 mm) sowohl ein Fließbettrockner als auch eine Trommeltrockner zum Einsatz kommen könnte. Beim Fließbettrockner sei zur Optimierung des Wärmebedarfes eine Rückführung der warmen Abluft aus der Kühlzone als vorgewärmte Trocknungsluft angenommen.

Das energetisch besonders effiziente System MOZER® „TK_plus“ erreicht neben dem dargestellten geringen Elektroenergieverbrauch sogar noch geringere Brennstoffverbräuche als das hier betrachtete System TK von knapp über 7 m³/h i.N. (bei 7% Eintrittsfeuchte des Sandes).

4 Advantages and disadvantages of fluidized bed dryers

To sum up, fluidized bed dryers have the following advantages:

- Intensive material and heat transfer based on the fluidized bed principle
- Countercurrent between the solid material and the drying air
- Controlled dedusting of the solid material during drying and cooling is possible
- Low weight thanks to the thin-walled design
- Consequently, low-price stainless steel models possible
- Dryer-cooler variants enable a low fuel requirement thanks to heat recovery based on recirculation of the cooler exhaust air
- Low solid material temperatures are possible (approx. 10 K above the cooling air temperature)
- Special applications for coating, agglomeration and granulation, calcination, roasting, etc.

Possible disadvantages of fluidized bed dryers are:

- Optimally suited only for fine-grained materials to around 4 mm
- Limited drying air temperatures
- Sensitivity to abrupt changes in the solid material particle sizes, moisture content and throughput rate or to cut-out of the drying air
- Relatively high electrical energy requirement
- Expensive supplied air system consisting of fans, pipelines and separate hot gas generator necessary
- Significant effort and expense involved in commissioning and parameter optimization

5 Comparison of the technical data of a drum dryer and a fluidized bed dryer

The following example is intended to make clear the differences between the technical data and the energy consumption of a MOZER® TK system drum dryer and a fluidized bed dryer/cooler (Table 1). Here an application was deliberately chosen for which, from a purely technical point of view (e. g. the required dried material temperature) as well as with the regard to the solid particle size (0...4 mm), a fluidized bed dryer or a drum dryer could be used. In the case of the fluidized bed dryer, for optimization of the heating energy requirement, a recirculation of the hot exhaust air from cooling zone as preheated drying air is assumed.

Besides its low electrical energy consumption detailed above, the particularly energy-efficient MOZER® “TK_plus” system achieves an even lower fuel consumption than the TK system included here of just over 7 m³/h in regular operation (at 7% starting moisture content of the sand).

As in the example described, in principle either a fluidized bed or a drum dryer can be used, the decision should be taken based on criteria such as the following:

- The expected consistency of the production conditions
 - Throughput rate
 - Moisture content
 - Particle size

Da im dargestellten Beispiel prinzipiell sowohl ein Fließbett- als auch ein Trommeltrockner zum Einsatz kommen könnte, sollte nach solchen Kriterien entschieden werden wie:

- Zu erwartende Konstanz der Produktionsbedingungen
 - Durchsatz
 - Feuchte
 - Körnung
- Preisrelation der Energieträger (Elektroenergie/Erdgas)
- Infrastruktur am Aufstellort sowie
- Ausbildungs- und Organisationsgrad des Betriebspersonals
- Eigenleistungen vor Ort

Die Investitionshöhe für eine komplette, vollständig errichtete Trommeltrockner- oder Fließbettrockner-Anlage inklusive elektrischem Steuer- und Regelsystem ist im dargestellten Beispiel vergleichbar. In vielen anderen Fällen, lässt sich nach der Priorität einiger weniger, besonders wichtiger Kriterien für oder wider des Einsatzes eines Trommeltrockners oder eines Fließbettrockners entscheiden. Die wichtigsten Argumente sind in [Tabelle 2](#) zusammenfassend dargestellt. Die aufgelisteten Argumente sind sehr vielfältig, häufig nicht als ausschließlich anzusehen und stehen im Zusammenhang untereinander. In einigen Fällen treffen Kriterien auf beide Techniken zu. Meistens hängt die Entscheidung deshalb von zwei oder drei Hauptkriterien ab, welche für den Betreiber oder für den Investor von besonderer Bedeutung sind.

Im vorliegenden Beispiel hat sich ein Investor aus der Baustoffindustrie für die Trommeltrockner/Kühler MOZER® TK entschieden, um seine neuen Werke zur Herstellung von Fertigmörtel, Fliesenkleber und Putzen in Osteuropa (Russland, Rumänien, Bulgarien, Polen, Serbien, Litauen, Ukraine usw.) mit robusten, flexiblen und zuverlässigen Sandtrocknungsanlagen auszustatten.

Auf Grund der langjährigen Erfahrung und der Vielzahl realisierter Anwendungen bietet Allgaier Hilfe und Unterstützung sowie eine kompetente Beratung zur Auswahl der optimalen Anlagenlösung für nahezu jede Standard- oder Sonderanwendung.

- Price ratio of the energy sources (electrical energy/natural gas)
- Infrastructure at the installation site as well as
- Level of training and organization of the operatives
- Work completed by internal/local labour on site

The total investment for a complete, fully installed drum dryer or fluidized bed dryer including the electrical control and regulation system is comparable in the example described. In many other cases, it is possible to decide for or against the use of a drum dryer or a fluidized bed dryer based on the prioritization of a few, very important criteria. The most important arguments are summarized in [Table 2](#). The listed arguments are very varied, should not be regarded as exclusive as they are often related to each other. In several cases, the criteria apply to both technologies. The selection decision usually depends on two or three main criteria, which are particularly important to the operator or investor.

In the example described, an investor from the construction materials industry opted for the MOZER® TK drum dryer/cooler, to equip his new plants for the production of ready-mixed mortar, tile adhesive and plasters in Eastern Europe (Russia, Romania, Bulgaria, Poland, Serbia, Lithuania, Ukraine, etc.) with rugged, flexible and reliable sand drying plants.

Based on the many years of experience and a multitude of realized applications, Allgaier provides aid and support as well as competent consultation for the selection of the optimum dryer solution for almost every standard and special application.