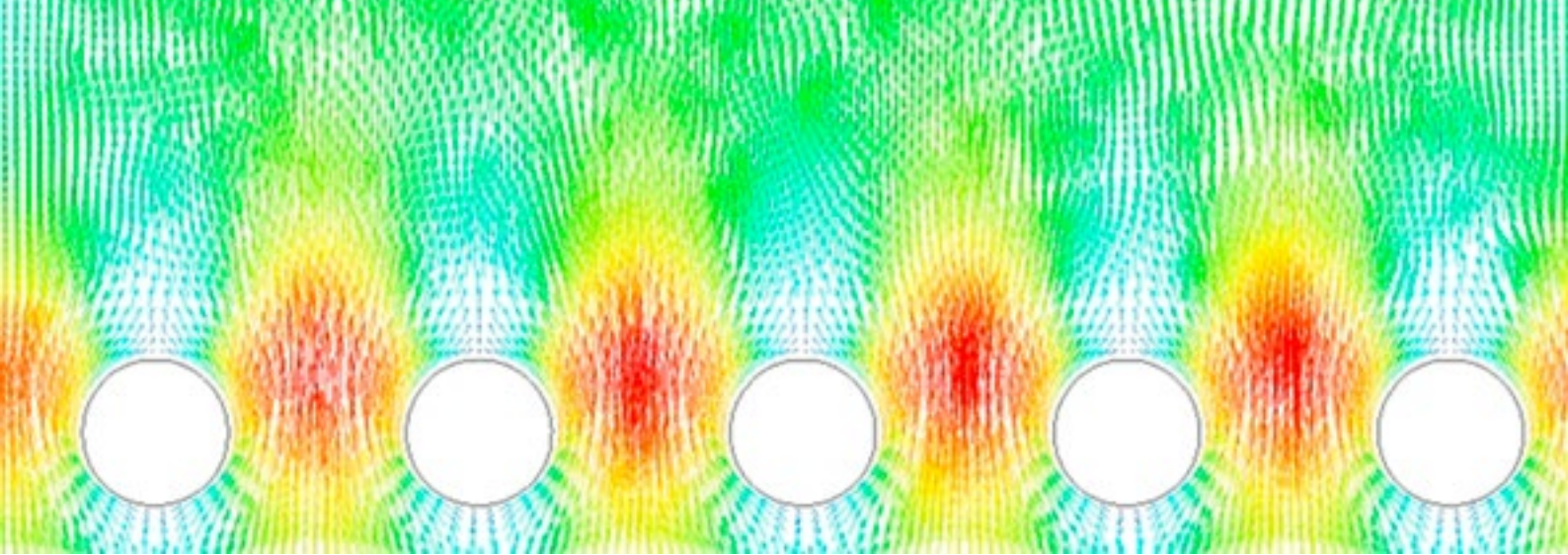


TROCKNUNG MIT ÜBERHITZTEM WASSERDAMPF BEI ATMOSPÄRENDRUCK



**INNOVATION DURCH
ZUSAMMENSPIEL
VON FORSCHUNG
UND ANLAGENBAU**



Herausforderung Energieeffizienz

Die Trocknung ist ein wichtiger und häufig eingesetzter Prozess in der Industrie. Bei der Produktion, Aufbereitung oder Verarbeitung von Feststoffen stellt sie einen wesentlichen Prozessschritt dar. Bei herkömmlichen Trocknungsprozessen mit Luft wird häufig ein großer Teil der in der gesamten Produktionskette benötigten Energie allein für die Trocknung verbraucht. Angesichts der Begrenztheit fossiler Rohstoffe ist die Industrie aufgefordert und bestrebt, die für die Trocknung benötigte Energie zu reduzieren und den Umgang mit Ressourcen verantwortungsbewusster zu gestalten.

Hierbei spielen einerseits die Auswahl der energetisch effizientesten Technologie und deren richtige Umsetzung eine große Rolle, andererseits aber auch die Rückgewinnung von bisher nicht genutzter Energie, z. B. von Rest- oder Abwärme. Nur so lassen sich Energiekosten und durch Energieerzeugung bedingte CO₂-Emissionen signifikant vermindern.

Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB verfolgt den Ansatz der Trocknung mit überhitztem Wasserdampf bei Atmosphärendruck. Diese Technologie ermöglicht signifikante Energieeinsparungen – bei gleichbleibend hoher Produktqualität.

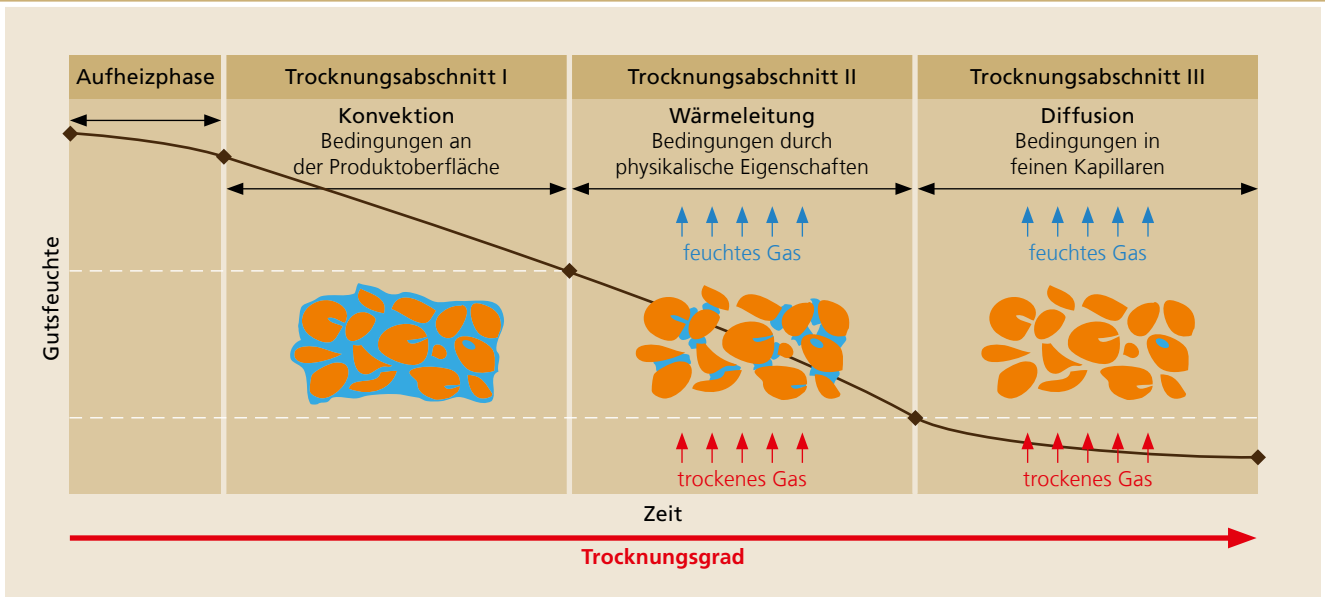
Kompetenzen und Kooperation

Für die Forschung, Entwicklung und Prozessapplikation von Trocknungsverfahren im Auftrag industrieller Kunden besitzt das Fraunhofer IGB ausgewiesene fachliche Kompetenz und verfügt über stationäre sowie mobile Labor- und Technikumsanlagen. Dies umfasst auch die Ausstattung zur analytischen Bewertung der eingesetzten Verfahren sowie leistungsfähige Software-Tools zur Simulation und Konstruktion für den Bau von Prototypen.

Zusammen mit Industriepartnern begleitet das Fraunhofer IGB industrielle Anwender von der Konzeptentwicklung über die prozesstechnische Auslegung und Anlagenfertigung bis zur Umsetzung der maßgeschneiderten Lösung im Betrieb.

Hierzu arbeiten wir unter anderem mit der Firma Heckmann Metall- und Maschinenbau GmbH zusammen, bei der das vom Fraunhofer IGB entwickelte Trocknungsverfahren bereits Anwendung in der Praxis findet. Die Heckmann Metall- und Maschinenbau GmbH verfügt über langjähriges Know-how bei der Trocknung mit überhitztem Wasserdampf. Mittels moderner CAD-Software werden spezielle Anforderungen umgesetzt. Für die Fertigung der Trocknungsanlagen besitzt Heckmann einen umfangreichen Maschinenpark.

INDUSTRIELLE TROCKNUNG



Aktuelle Situation

Bei der Produktion, Aufbereitung und Verarbeitung von Feststoffen stellt die Trocknung meist einen wesentlichen Prozessschritt dar. Trocknungsprozesse werden beispielsweise für die Formstabilisierung von Granulaten, Pellets oder Pulvern eingesetzt. Ebenso werden gewünschte Gebrauchseigenschaften von Produkten wie Haltbarkeit, Gewichtsreduzierung oder mikrobiologische Stabilität mit Trocknungsprozessen erreicht.

Übliche Trocknungsprozesse arbeiten mit Heiß- oder Warmluft. Dabei wird in vielen Fällen ein großer Teil der in der gesamten Bearbeitungskette benötigten Energie verbraucht. Ferner sind diese Prozesse oft zeitintensiv und benötigen viel Platz. Schätzungen zufolge werden über 15 Prozent des gesamten industriellen Energieverbrauchs für die Trocknung aufgewendet¹.

Stand der Technik

Unter Trocknung wird üblicherweise eine thermische Entfeuchtung verstanden, bei der die Feuchtigkeit durch einen Phasenwechsel von flüssigem Wasser zu Wasserdampf aus dem feuchten Gut entfernt wird. Je höher der Feuchtegehalt des Ausgangsmaterials, umso mehr Energie wird zur Trocknung benötigt.

Der thermische Trocknungsprozess besteht aus drei wesentlichen Teilprozessen:

- (i) der Wärmeübertragung von der Umgebung zum Feuchtgut hin,
- (ii) der Phasenumwandlung der Feuchtigkeit und
- (iii) dem Abtransport des entstehenden Dampfes durch Diffusion in die Umgebung.

Bei konvektiven Trocknungsverfahren wird die erforderliche thermische Energie mittels Gasstrom zugeführt. Konventionell wird Umgebungsluft durch Brenner oder Wärmetauscher auf eine gewünschte Temperatur gebracht. Im Einzelfall, wenn organische Lösungsmittel entfernt oder extrem zündfähige Feststoffe getrocknet werden sollen, wird die auf Stickstoff

¹ Strumillo, C.; Jones, P.; Zylla, R. (1995) *Energy Aspects in Drying, Handbook of Industrial Drying, 2nd Ed.*; Mujumdar, A. S., Ed.; Marcel Dekker: N. Y.

basierende inertisierte Kreisgasfahrweise eingesetzt. Die Kosten des Trocknungsverfahrens hängen unmittelbar vom notwendigen Gasmassenstrom und der erforderlichen Trocknungszeit ab; diese bestimmen die Größe des Trockners und der Peripherie.

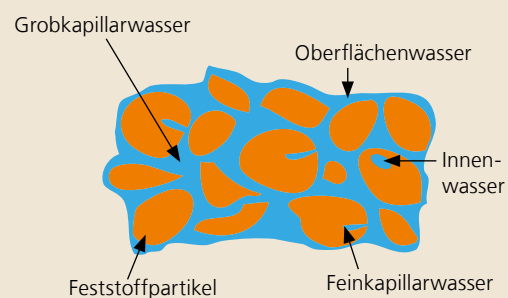
Technische Einschränkungen bei konventioneller Heißlufttrocknung

Bei derzeitigen Trocknungsverfahren werden die umweltbelastenden Emissionen in die Atmosphäre zurückgeleitet. Neben CO₂ kann das Abgas flüchtige Basen, Ammoniak, Fettsäuren und Schwefelverbindungen beinhalten, welche häufig auch für Geruchsbelästigungen verantwortlich sind. Deshalb ist es erforderlich, eine aufwendige Abgasaufbereitung nachzuschalten, um die geforderten Emissionsgrenzwerte einhalten zu können. Zudem gehen mit dem Abgas auch Wärmeenergie und leichtflüchtige Substanzen verloren, welche sinnvollerweise auch für andere Anwendungen genutzt werden könnten.

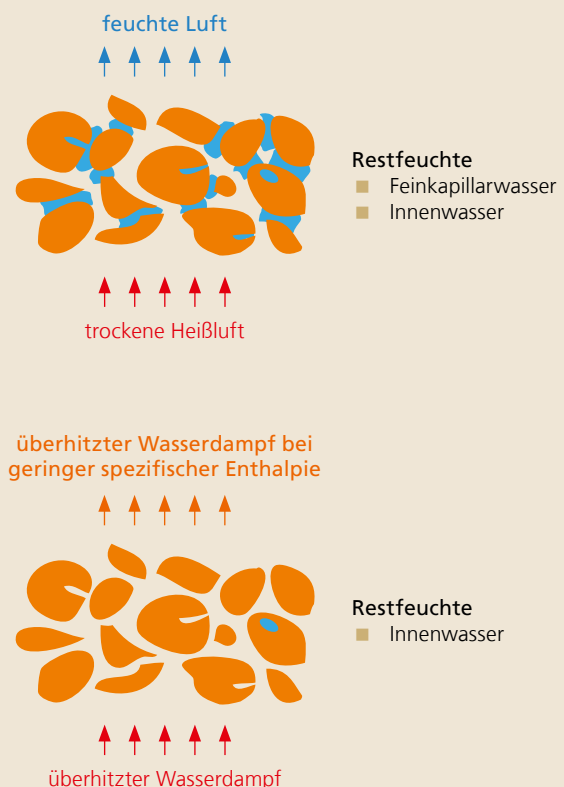
Ein weiteres Problem bei luftbasierten Trocknungsprozessen ist die mögliche Entstehung explosionsfähiger Gemische aus Luftsauerstoff, aufgewirbeltem Staub und/oder Lösungsmitteln. Zur Minimierung der Explosionsgefahr sieht der Gesetzgeber aufwendige Maßnahmen gemäß ATEX-Leitlinien² vor, die oft zu komplexen und damit kostenintensiven Bau- und Betriebsweisen der Heißlufttrocknungsanlage führen, beispielsweise druckstoßfeste Ausführungen oder Schutzgasbetrieb.

² Europäische Kommission (2011): ATEX Leitlinien, ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/atex/guidel/atexguidelines-may2011_en.pdf

Wasserverteilung im Feststoff



Konvektive Trocknung mit Heißluft (konventionell) und mit überhitztem Wasserdampf im Vergleich



NEUES VERFAHREN MIT ÜBERHITZTEM WASSERDAMPF

Verbesserungen durch überhitzten Wasserdampf

In der industriellen Massenproduktion ist der Energieverbrauch eine wichtige wirtschaftliche Größe. Einsparungen können durch Energierückgewinnung, optimierte Prozessführung oder Mehrfachnutzung der Energieströme erzielt werden. Dabei kommt der Trocknung mit überhitztem Wasserdampf besondere Bedeutung zu.

Reduzierter spezifischer Energieverbrauch

Mit Heißdampf sind aufgrund der im Vergleich zu Heißluft überlegenen thermodynamischen Eigenschaften (höhere thermische Leitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität) und geringeren Dichte (bessere Durchdringung des zu trocknenden Gutes) höhere Trocknungsraten erreichbar. Zudem ist der Diffusionswiderstand von verdampfter Feuchtigkeit in der Atmosphäre aus überhitztem Wasserdampf geringer als in der Luft. Dies führt bei der Heißdampftrocknung zu einer homogeneren und schnelleren Trocknung des Gutes mit einem spezifischen Energieverbrauch von 0,75–0,90 kWh pro kg verdampftes Wasser. Dahingegen liegt der thermische Energiebedarf bei einer entsprechenden Heißlufttrocknung bei 1,10–1,70 kWh pro kg verdampftes Wasser³.

Keine Reaktionen mit Sauerstoff

Infolge der Abwesenheit von Luftsauerstoff sind Oxidationsprozesse am Trocknungsgut, welche zur Minderung der Produktqualität führen, ausgeschlossen. Eine Explosionsgefahr, welche die Bau- und Betriebsweise verkompliziert, besteht ebenso wenig.

Rückgewinnung von Energie und flüchtigen Substanzen

Die während des Trocknungsprozesses frei werdende Verdampfungswärme wird dem System wieder zugeführt. Des Weiteren ist es möglich, mit dieser Kreislaufführung auch im Trocknungsgas freigesetzte volatile Substanzen (Aromastoffe, Lösemittel) zurückzugewinnen, beispielsweise durch Kondensation oder Brüden-Kompression⁴.

Verfahrensprinzip

Das zu trocknende Gut wird einer Atmosphäre aus überhitztem Wasserdampf ausgesetzt, dabei wird die Wärme konvektiv auf das Gut übertragen. Der Heißdampf nimmt die aus dem Trockengut verdampfte Feuchtigkeit auf und kühlt sich ab, bleibt dabei jedoch weiterhin im überhitzten Zustand. Die aus dem Trockengut ausgetragene Feuchtigkeit wird zu überschüssigem Wasserdampf, welcher gezielt aus dem Trocknungsraum abgeleitet wird. Die abgegebene Verdampfungswärme wird dem Hauptdampfstrom in einer Kreislaufführung wieder zugeführt. Dadurch wird seine Temperatur auf dem Niveau gehalten, das für eine weitere Feuchteaufnahme erforderlich ist. Die Arbeitstemperatur beträgt in der Regel 110–250 °C, kann aber auch erhöht werden.

Über den Dichteunterschied grenzt sich die Atmosphäre aus überhitztem Wasserdampf selbst gegen die Luftatmosphäre ab, dies verhindert gleichzeitig ein Nachströmen der Umgebungsluft. Installationen zur Abdichtung der Atmosphären, z. B. Schleusen, sind daher nicht erforderlich. Zur Trocknerbeschickung kann somit ohne Einschränkungen das Transportsystem gewählt werden, das für die Handhabung des jeweiligen Produktes am besten geeignet ist.

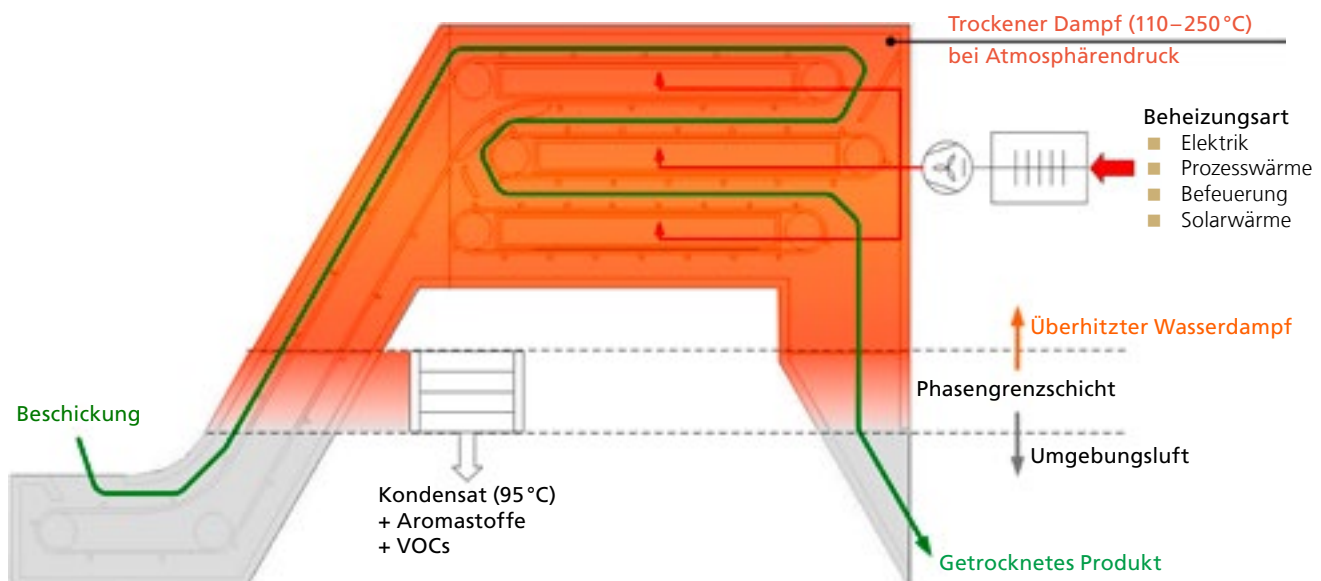
³ Desai, D. K. and Hoadley, A. F. A. (2009) *Superheated Steam Drying of Brewer's Spent Grain in a Rotary Drum*, *Advanced Powder Technology*, Vol. 20 (3), pp. 240–244

⁴ Mujumdar, A. S. (1990) *Superheated Steam Drying – Principles, Practice and Potential for Use of Electricity*. Canadian Electrical Association Report 817 U 671: Montreal

Anlagenkonzept

Das System ist nach oben geschlossen, jedoch nach unten atmosphärisch offen. Mit einer gezielten Abscheidung des überschüssigen Dampfes wird die Phasengrenzschicht zwischen überhitztem Wasserdampf und Umgebungsluft kontrolliert, um den Verlust an rückführbarer Energie durch den Austritt des überhitzten Wasserdampfes zu vermeiden. Grundsätzlich ist es möglich, den Überschussdampf, der eine vergleichbare Energiemenge wie die zugeführte latente Wärme enthält, weiter zu verwenden, indem die Wärme auf einem hohen Temperaturniveau über 100 °C für weitere Prozesse genutzt wird. Durch diese Maßnahme kann eine höhere Energieeffizienz im Gesamtenergiekonzept einer Industrieanlage erreicht werden.

Bei der Energierückgewinnung, z. B. durch Kondensation, werden auch die flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOCs) mit dem Kondensat ausgeschieden. Die Abtrennung dieser kondensierbaren organischen Substanzen kann durch einfaches Dekantieren erfolgen und sie als recycelter Wertstoff zur Verfügung gestellt werden. Der Einsatz von überhitztem Wasserdampf und damit einhergehend die Abwesenheit von Luftsauerstoff ermöglichen einen inerten Prozessraum. Dies verhindert die Oxidation des Produkts und reduziert die Explosionsgefahr deutlich. Außerdem kann das Trockengut durch die gezielte Anpassung der Temperatur und der Trocknungszeit gleichzeitig hygienisiert werden.





AUSSTATTUNG

Um die für die verschiedenen Trocknungsanwendungen notwendigen Parameter zu ermitteln, wurden verschiedene Versuchsanlagen entwickelt und aufgebaut. Mit den zur Verfügung stehenden Apparaten lassen sich geplante Trocknungsverfahren prüfen und evaluieren. Hier testen wir unsere gemeinsamen Entwicklungen und bieten Kunden aus vielen Industriebereichen ein weites Leistungsspektrum. Dabei bestimmt das Produkt mit seinem speziellen Trocknungsverhalten die Auslegung und Anpassung des Trockners. Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker berechnen und ermitteln in praxisbezogenen Versuchen die richtige Lösung.

Labortrockner für Vergleichsuntersuchungen

Der transportable Labortrockner ist speziell dafür entwickelt worden, um unterschiedlichste Produkte mit Luft oder überhitztem Wasserdampf zu trocknen und die energetischen und qualitativen Unterschiede zwischen beiden Verfahren zu ermitteln. Der Labortrockner ist ausschließlich als halbtechnische Versuchsanlage konzipiert und nicht leistungsorientiert ausgelegt. Durch den mehrteiligen Aufbau ist er einfach zu transportieren.

Bei dieser Anlage ist die Verfahrenstechnik von der Produktkammer getrennt. Dies hat den Vorteil, dass die Trockenkammer und Fördertechnik individuell an das jeweilige Produkt angepasst werden können. Für die unterschiedlichen Einsatzgebiete stehen zwei Trockenkammern zu Verfügung, die bei Bedarf mit wenigen Handgriffen ausgewechselt werden können.

Technische Daten

- Verdampfungsleistung: bis zu 45 kg/h bei einer Arbeitstemperatur von bis zu 300 °C

Kontinuierlicher Bandtrockner

Der Technikumsbandtrockner bildet, in kleinerem Maßstab, die Funktion eines kontinuierlichen Bandtrockners ab. Der Bandtrockner wird als kontinuierlicher Konvektionstrockner betrieben. Das zu trocknende Produkt wird auf einem durchströmten Edelstahlband durch das Trocknergehäuse gefördert und während dieser Zeit von überhitztem Wasserdampf durchströmt. Er verfügt über vier Trocknungszonen, die unabhängig voneinander geregelt werden können. Parameter wie Verweilzeit, Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit usw. lassen sich produktbezogen und individuell einstellen.

Mit der Anlage können Trocknungsversuche durchgeführt oder Produkte in Kleinmengen produziert werden. Prinzipiell können alle Produkte getrocknet werden, die auch auf einer Produktionsanlage behandelt werden können. Die erreichbaren Durchsätze hängen jedoch stark von dem zu trocknenden Produkt ab.

Technische Daten

- Verdampfungsleistung: bis zu 50 kg/h bei einer Arbeitstemperatur von bis zu 250 °C
- Produkttransport: Gliederband ist Standard, andere Bänder können kundenspezifisch bestückt werden



- 1 *Labortrockner.*
- 2 *Bandtrockner.*
- 3 *Vibrationsfließbettrockner.*
- 4 *Mahlrockner.*

Vibrationsfließbettrockner

Der Vibrationsfließbettrockner ist als freischwingendes System mit Doppelvibrationsmotorenantrieb ausgelegt. Die Maschine ist mit elastischen Federn auf einem Rahmen gelagert, wobei der Erreger direkt unter der Maschine angeordnet ist. Der Vorteil eines Freischwingers ist die Regelung der Drehzahl über einen Frequenzumrichter und somit eine variable Einstellung der Verweildauer des Produkts in der Trockenkammer/ Vibrationsrinne.

Das Produkt wird z. B. über eine Schnecke in den Trockner eingebracht. In der Wirbelrinne des Trockners wird das Produkt vom Eintrag bis zum Austrag intensiv umströmt und durch den Strom von überhitztem Wasserdampf leicht verwirbelt. Die Anströmung erfolgt von unten über den Anströmboden oder von oben über ein Jet-Zone-Prinzip. Für die Röstung von beispielsweise Kaffee- und Kakaobohnen ist eine Quench- und Kühlzone nachgeschaltet.

Technische Daten

- Verdampfungsleistung: bis zu 45 kg/h bei einer Arbeitstemperatur von bis zu 300 °C

Mahlrockner mit kombinierter Zerkleinerung

Bei der Mahltrocknung wird überhitzter Wasserdampf aus dem Heizregister angesaugt und durch die Mühle gefördert. Dort erfolgt während der Zerkleinerung auch die Produkt-trocknung mittels heißem Gasstrom. Die getrockneten Gut-partikel werden mit dem überhitzten Wasserdampf aus der Mühle ausgetragen, über eine Rohrleitung pneumatisch bis zum Zyklon und Gewebefilter gefördert und dort abgeschie-den.

Das Produkt wird im Strom des überhitzten Wasserdampfes erfasst, in extreme Turbulenzen versetzt und durch Prallwir-kungen zwischen den Partikeln, sowie auf Mahlbahnen und Werkzeugen zerkleinert. Auch explosionsgefährliche Produkte können aufgrund der Abwesenheit von Sauerstoff in der über-hitzten Dampf-atmosphäre vermahlen und getrocknet werden. Ebenso ist der Einsatz von klebrigen, pastösen oder tempera-turempfindlichen Produkten in der Wirbelmühle möglich.

Technische Daten

- Verdampfungsleistung: bis zu 200 kg/h bei einer Arbeitstemperatur von bis zu 300 °C
- Umdrehungsgeschwindigkeit der Wirbelmühle bis zu 3500 U/min



ANWENDUNGEN

REFERENZDATEN

Lebensmittel

Im Bereich der Lebensmitteltrocknung wurden erhebliche Zeiterparungen erreicht. Bei Apfelchips wurde die Trocknungszeit von 8 Stunden ohne Qualitätsverluste um 90 Prozent auf 50 Minuten verringert. Auch bei Lebensmittelrohstoffen auf Kartoffelbasis verringerte sich die Trocknungszeit um mehr als 90 Prozent (von 7 Stunden auf 30 Minuten).

Hygienisierung

Anhand systematischer Versuche konnten wir zeigen, dass sich die Trocknung mit überhitztem Wasserdampf auch zur Hygienisierung von Lebensmitteln eignet. Die Keimbelastung künstlich kontaminierter Champignons und Paprikas mit Zellen von *E. coli* und *Bacillus*-Endosporen konnte um 7 Log-Stufen reduziert werden. Weitere Produkte, die wir bereits getestet und untersucht haben, sind Teezutaten (z. B. Ingwer und Wacholderbeeren), Bananen, Kaffee- und Kakaobohnen, Fisch und Shrimps, Zwiebeln, Orangenschalen, Nudelteig und zerkleinertes Brot.

Futtermittel

Bei diversen Futtermitteln konnte die Trocknungszeit von 35 Minuten auf 10 Minuten verringert werden. Dabei wurde die Trocknung mit überhitztem Wasserdampf sogar bei einer um 10 °C geringeren Temperatur als die Heißlufttrocknung durchgeführt. Durch die Prozessoptimierung verringert sich auch der Energieverbrauch.

Mineralische Rohstoffe

Bei der Trocknung eines schüttgutförmigen Rohstoffs wurden eine Zeitersparnis von 30 Prozent und eine Energieeinsparung von 40 Prozent im Vergleich zu bestehenden Heißlufttrocknern erreicht. Dies bedeutet wiederum eine Reduzierung der Trockenraumgröße um ein Drittel oder einen entsprechend höheren Durchsatz.

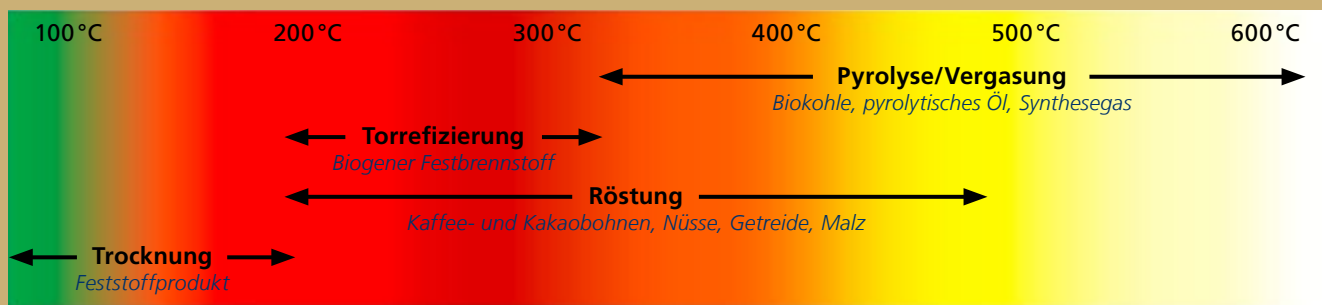
Baumaterialien

Mit einem kontinuierlichen Technikumstrockner war es in ersten Versuchsreihen möglich, die Trockenzeit von 4–6 Stunden auf unter 3 Stunden zu reduzieren. Dies entspricht einer Zeitersparnis von 25–50 Prozent.

Biogene Reststoffe

Mit einer Reduzierung des Energieverbrauches um über 30 Prozent wurde die Trocknung mit überhitztem Wasserdampf zur Verminderung der Emissionen an klimarelevanten Gasen, wie bei der Klärschlamm-trocknung, im Technikumsmaßstab erfolgreich eingesetzt. Ammoniak und flüchtige organische Säuren wurden im Kondensat nachgewiesen und als sekundäre Rohstoffe zurückgewonnen, beispielsweise zur Herstellung des mineralischen Düngemittels Natriumsulfat.

Außerdem wurden Untersuchungen von Gärresten, Gülle und Algen zur stofflichen Verwertung mittels Trocknung mit überhitztem Wasserdampf durchgeführt.



AUSBLICK – WEITERE NEUE ANWENDUNGEN

Das Fraunhofer IGB entwickelt zusammen mit Industriepartnern das Verfahren stetig weiter, um den Einsatz von überhitztem Wasserdampf über die Trocknung hinaus auszuweiten und für weitere thermische und thermo-chemische Prozesse zu erschließen. Aufgrund der vielfältigen Vorteile von Prozessen mit überhitztem Wasserdampf konnten für folgende Anwendungen bereits gute Fortschritte erzielt werden.

Röstung

Bei der Röstung handelt es sich um eine Wärmebehandlung von pflanzlichen Lebensmitteln wie Nüssen, Kaffee- und Kakaobohnen, Getreide und Malz, bei der grundlegende physikalische und chemische Veränderungen in der Struktur und in der Zusammensetzung auftreten. Diese führen zu einer Bräunung sowie zur Entwicklung der typischen Aromen und Geschmacksrichtungen.

Bei der Röstung von Kaffee wurde überhitzter Wasserdampf bereits als Röstgas in unserem Vibrationsfließbettrockner im Technikmaßstab eingesetzt und getestet. Durch die Kreislaufführung wurde der Abgasstrom auf das technologisch mögliche Minimum reduziert (50-mal kleinerer Abgasstrom gegenüber der Heißluft-röstung) und somit nur das bei der Röstung freigesetzte Gas aus dem Prozess ausgekrist und auskondensiert. Das Kondensat wurde zur Abkühlung der Kaffeebohnen genutzt, um eine unkontrollierte Nachröstung zu verhindern. Da Aromastoffe einschließlich ätherischer Öle im Kondensat nachgewiesen wurden, arbeiten wir zurzeit daran, diese einzelnen Komponenten zu extrahieren. Um 1 kg Kaffeebohnen zu rösten, werden rechnerisch 245 W thermische Energie benötigt. Bei der Röstung mit überhitztem Wasserdampf wird dieser theoretische Minimalwert nahezu erreicht. Das Röstverfahren mit überhitztem Wasserdampf wurde patentiert und am Vibrationsfließbettrockner erfolgreich realisiert.

Torrefizierung

In der Atmosphäre aus überhitztem Wasserdampf und somit unter Sauerstoffabschluss wird holzartiges Material bei Temperaturen von 250–300°C behandelt. Das vorhandene Wasser wird ausgetrieben, danach zersetzt sich zuerst die Hemicellulose und anschließend ein Teil der Cellulose und des Lignins. Ziele bei der Torrefizierung sind die Erhöhung der massebezogenen Energiedichte und damit des Heizwerts des Rohmaterials, eine Steigerung der Transport- und Lagerfähigkeit, sowie eine Reduzierung des technischen Aufwands bei einem nachfolgenden Zermahlen oder Pelletieren. Das daraus resultierende Produkt gilt als ein idealer Zusatzbrennstoff für Kraftwerke mit Kohlestaubfeuerungen oder als Rohstoff für die biotechnische Raffinerie zur Herstellung von Chemieprodukten. Die flüchtigen Bestandteile, die sich während Torrefizierung entwickeln, können vorsepariert und weiter als Rohstoff für die Herstellung chemischer Grundbausteine verwertet werden.

**Fraunhofer-Institut
für Grenzflächen- und
Bioverfahrenstechnik IGB**
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-4401
Fax +49 711 970-4200
info@igb.fraunhofer.de
www.igb.fraunhofer.de

UNSER LEISTUNGSANGEBOT

- Wissenschaftliche Beurteilung, Beratung, Untersuchungen zu Aufgaben der Trocknung und des Wärmeübergangs
- Entwicklung eines nach den individuellen Bedürfnissen des Kunden applizierten Anlagenkonzepts
- Prozessauslegung durch ein interdisziplinäres Team aus den Bereichen Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Chemie, Mikrobiologie und Elektrotechnik
- Technikums- und Pilotanlagen für die Versuchsdurchführung
- Produktbezogene Beurteilung der Trocknung durch ein umfangreiches Analytikangebot
- Konstruktive Spezifizierung des Prozesses und der Anlagenkomponenten, u. a. mit der integrierten Kombination aus 3D-CAD-Konstruktion und numerischer Simulation von Strömungen, Wärmeübertragung etc. mit neuester Software
- Begleitung unserer Kunden von den ersten Voruntersuchungen über die Realisierung der entwickelten Anlagenkonzepte bis zur Inbetriebnahme einer Anlage

Kontakt

Dr.-Ing. Antoine Dalibard
Telefon +49 711 970-4130
antoine.dalibard@igb.fraunhofer.de

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:

