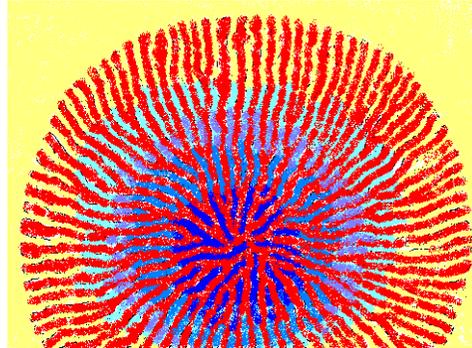


## WARUM MÜSSEN GRANULATE VOR DER VERARBEITUNG GETROCKNET WERDEN?

Die meisten Kunststoffgranulate wie Nylon, Polycarbonat und PET sind hygroskopische Materialien. Sie adsorbieren Feuchtigkeit aus feuchter Luft und geben Feuchtigkeit an trockene Luft zurück. Zusätzliche Feuchtigkeit kann sich auf der Oberfläche des Granulats niederschlagen (Oberflächenfeuchtigkeit). Verschiedene hygroskopische Granulate können unterschiedliche Feuchtigkeitsmengen in Kapillaren speichern, die sich zwischen den Molekülketten formen. Die Menge der Feuchtigkeit hängt von Anzahl und Größe der Kapillaren ab.

Nicht-hygroskopische Granulate wie Polyethylene, Polypropylene und PVC adsorbieren keine Feuchtigkeit, da der Raum zwischen den Molekülketten in diesen Granulaten kleiner als die Größe eines einzelnen Wassermoleküls ist. Sie können aber Oberflächenfeuchtigkeit aufnehmen.



Adsorbierte Feuchtigkeit und Oberflächenfeuchte sind bekannte Ursachen für Mängel in geformten Kunststoffen. Sie können zu einem totalen Produktionsausfall führen. Die Trocknung von neuem Granulat und recycelten Kunststoffen ist ein wichtiger Vorgang, bevor das Material in der Produktionsmaschine verarbeitet wird, wobei die Lufttrocknung die gebräuchlichste Methode in der Kunststoffindustrie ist.

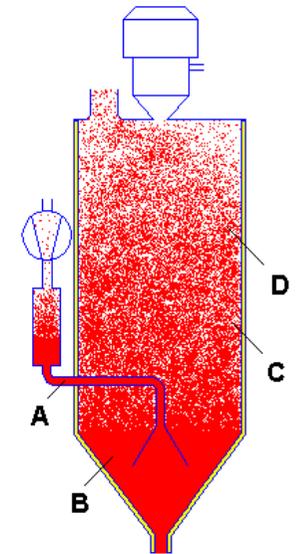
## WELCHE FAKTOREN BESTIMMEN DIE ERGEBNISSE IN LUFTTROCKNUNGSSYSTEME?

- ↪ Ein Aufheizen des Granulats erhöht den Druck der Feuchtigkeit in den Kapillaren und versetzt die Wassermoleküle in Bewegung, wodurch diese die Kapillaren verlassen. Je höher die Temperatur ist, desto mehr Feuchtigkeit wird abgegeben.
- ↪ Eine schnelle Luftströmung senkt den Druck auf der Oberfläche der Granulat Körner und hilft beim Entziehen der Feuchtigkeit. Ein längeres Verweilen in heißer trockener Luft sowie eine schnelle Luftströmung senkt somit die Restfeuchtigkeit im Granulat.
- ↪ Die geometrische Form des Trocknungsbehälters, die Behälterisolierung und die Konstruktion des Luftverteilers sind wichtige Faktoren.
- ↪ Eine niedrige relative Feuchtigkeit oder ein niedriger Taupunkt beschleunigen den Trocknungsprozess und sichern bessere Ergebnisse.

Eine große Menge an Luft wird benötigt, um die notwendige Wärme in das Material zu transferieren und das Granulat entsprechend aufzuheizen. Hat das Granulat erst einmal die erforderliche Temperatur erreicht und die adsorbierte Feuchtigkeit wurde an die Oberfläche der Granulat Körner gedrückt, wird eine wesentlich geringere Trockenluftmenge benötigt, um die Feuchtigkeit abzutransportieren.

Bei der Trocknung von PC wird eine Lufttemperatur von 120°C eingestellt (A). Der Temperaturabfall in einem herkömmlichen Behälter mit einem herkömmlichen Luftverteiler ist bei Messpunkt (B) nur gering, bei Punkt (C) ist er schon wesentlich niedriger und bei Punkt (D) beträgt die Temperatur überhaupt nur mehr 75°C.

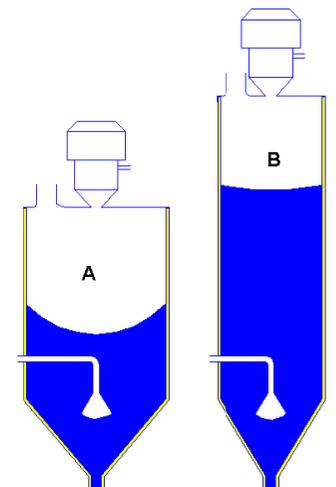
Die Verweilzeit des Materials im Bereich mit hoher Temperatur ist kurz, wodurch das Granulat nicht komplett bis in den Kern auf Solltemperatur erwärmt werden kann. Eine Erhöhung der Luftmenge sorgt für eine bessere Wärmeverteilung im Behälter und verbessert die Trocknungsergebnisse, aber der Energieverbrauch steigt dadurch ebenfalls. Bei jedem Trocknungssystem ist die Form des Trocknungsbehälters wichtig.



Die Trocknungsergebnisse hängen nicht nur vom Taupunkt und der Prozesslufttemperatur ab. Die Verweilzeit im Bereich mit hoher Temperatur, die Luftverteilung im und der Materialfluss durch den Behälter sind ebenso sehr wichtige Faktoren. Ein trichterförmiger Durchfluss tritt auf, wenn das Granulat in der Mitte des Behälters schneller fließt als an den Rändern.

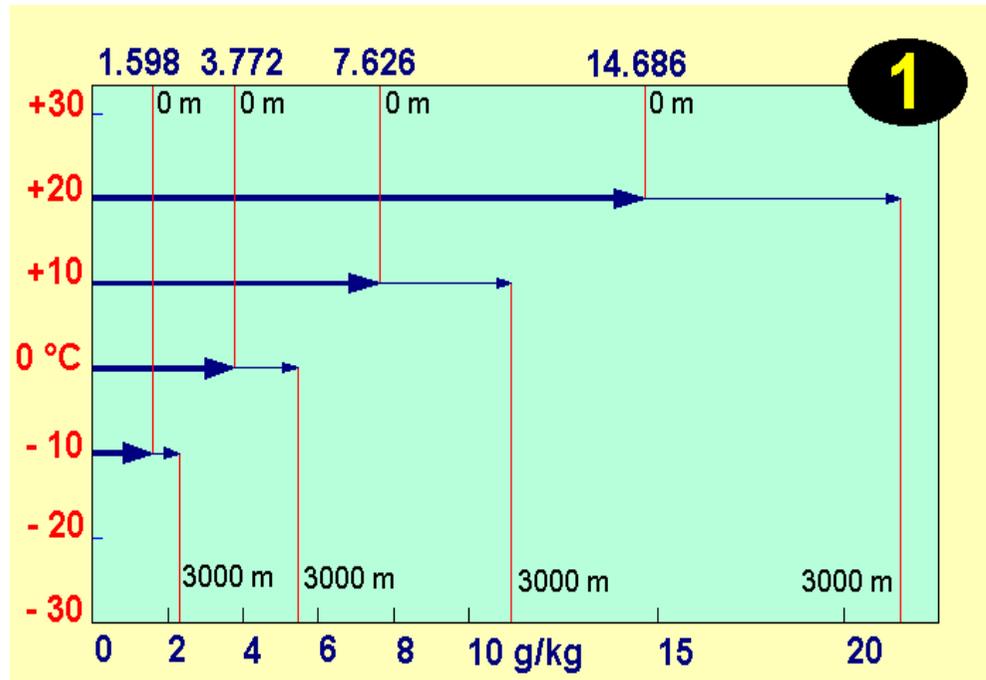
Ein schlanker und hoher Behälter hilft dieses Phänomen zu beseitigen und stellt eine schnelle Luftströmung und eine gleichmäßige Luftverteilung im gesamten Behälter sicher. Die Trocknungsergebnisse im Behälter (B) sind besser als jene im Behälter (A).

Ein isolierter Behälter ist bei allen Trocknungssystemen wichtig. Das Material an den Wänden des Behälters erreicht nicht die erforderliche Temperatur, wenn der Behälter schlecht isoliert ist. Eine gute Isolierung spart zudem eine beträchtliche Menge an Energie.



**WAS IST TAUPUNKT UND WAS IST RELATIVE FEUCHTE?**

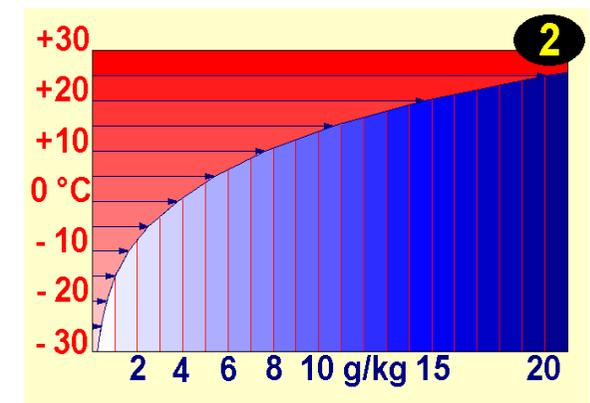
Fachwörter wie Taupunkt und relative Feuchtigkeit werden oft falsch verstanden. Ist ein Lufttaupunkt von -40°C doppelt so gut als ein Taupunkt von -20°C? Die Antwort ist nein, aber für ein besseres Verständnis ist ein genauerer Blick auf das Mollier-Diagramm notwendig.



Das Mollier-Diagramm wurde für 1kg Luft unter bestimmten Druckverhältnissen erstellt. In Abbildung 1 wird die maximale Feuchtigkeitsmenge in 1kg Luft bei Meereshöhe und bei 3000m über Meereshöhe bei verschiedenen Temperaturen gezeigt. Zum Beispiel enthält 1 kg Luft auf Meereshöhe bei 10°C 7,626g Wasser. Bei gleicher Temperatur aber auf 3000m Höhe über dem Meer enthält 1kg trockene Luft mehr als 11g Wasser.

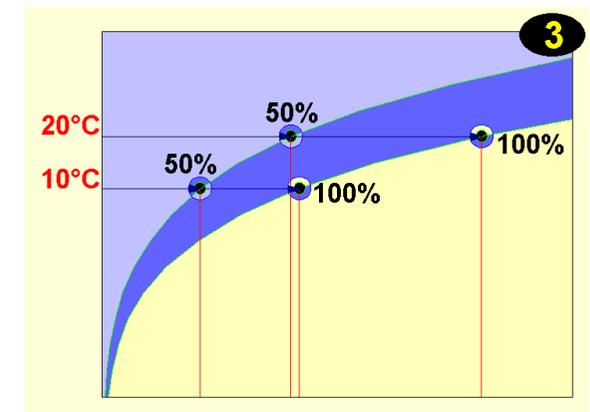
Wird Luft von 0°C auf 10°C ( $\Delta T=10K$ ) in Meereshöhe erwärmt, kann sie 3,854g an Wasser aufnehmen. Bei einer Erwärmung von 10°C auf 20°C ( $\Delta T=10 K$ ) in Meereshöhe kann die Luft bis zu 7,060g Wasser aufnehmen.

Die Werte für den maximalen Feuchtigkeitsgehalt von 1kg Luft auf Meereshöhe bilden eine Kurve, die als Sättigungskurve bekannt ist (Abbildung 2).



Die Sättigungskurve beginnt bei einer Temperatur von -273°C (0K) mit einer maximalen Feuchte von 0 und erreicht eine maximale Feuchte von 1g/kg Luft bei einer Temperatur von etwa -15°C. Die Beziehung zwischen maximaler Feuchte und Lufttemperatur ist beinahe linear bei einer Feuchtigkeitszunahme von 0,0037g/K. Eine deutliche Kurvenform erscheint im Temperaturbereich von -15 °C bis +15 °C. Danach nimmt die Sättigungskurve wieder eher die Form einer Linie ein, wobei die Feuchte im Verhältnis deutlich mehr zunimmt als die Temperatur.

In der Praxis ist die Luft nicht immer total mit Wasser gesättigt. Wenn die Luft bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck 50% der maximal möglichen Feuchte enthält, dann ist die Luft zu 50% gesättigt. Das heißt, die relative Feuchte beträgt 50%. Die Sättigungswerte bei 50% zeigt Abbildung 3.



Die relative Luftfeuchtigkeit gibt Auskunft über die Wassermenge in der Luft in Relation zu derjenigen Wassermenge, die die Luft bei gleichem Druck und gleicher Temperatur zu 100% sättigen würde.

Bei höheren Temperaturen kann eine geringe Feuchtigkeitsmenge die Luft nicht sättigen, daher ist die relative Luftfeuchtigkeit bei diesen (höheren) Temperaturen gering. Die relative Luftfeuchtigkeit steigt mit sinkender Temperatur, bis sie 100% erreicht und die Luft total gesättigt ist. Fällt die Temperatur weiter, wird die Luft übersättigt. Die überschüssige Feuchte (jenseits des Sättigungswerts) wird ausgeschieden und erscheint in der Luft als Nebel oder Tau.

Punkt (A) in nachfolgender Abbildung verkörpert Luft mit 20°C bei Meereshöhe mit einem Wassergehalt von 3,77 g/kg Luft und einer relativen Feuchtigkeit von 25,7%. Wird die Luft mit den Werten von Punkt (A) auf 0°C abgekühlt, steigt die relative Luftfeuchtigkeit über 100 % und die Luft wird übersättigt. Das bedeutet, dass die Luft bei Punkt (A) einen Taupunkt von 0°C besitzt.

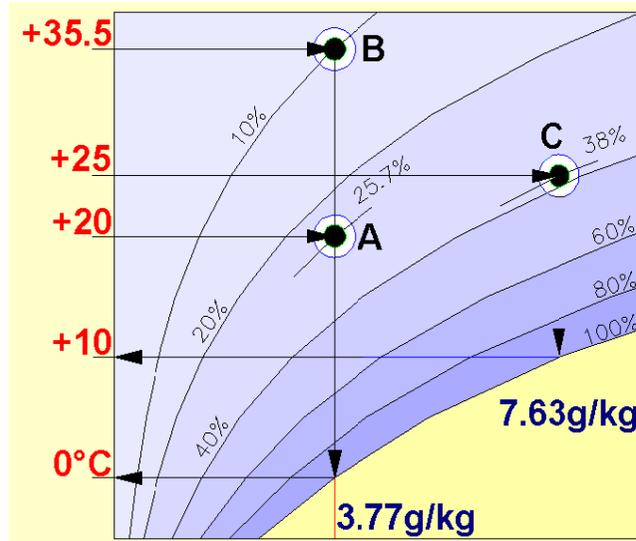
Punkt (B) hat eine Temperatur von 35,5°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 10%. Die Luft besitzt die gleiche Wassermenge wie in Punkt (A) und den gleichen Taupunkt (0°C).

Der Taupunkt steht in direkter Beziehung zum Wassergehalt in der Luft bei einem bestimmten Druck. Er steht weder mit der Lufttemperatur noch mit der relativen Luftfeuchtigkeit in Beziehung.

Die Temperatur bei Punkt (C) beträgt 25°C, die relative Luftfeuchtigkeit 38%. Der Wassergehalt liegt bei 7,63g/kg und der Taupunkt beträgt 10°C.

Der Taupunkt von 0°C gilt für beide Punkte (A) und (B), aber Luft bei 35,5°C und 10% relativer Luftfeuchtigkeit (B) eignet sich besser für Trocknungszwecke als Luft mit 20°C und 25,7% relativer Luftfeuchtigkeit (A). Für den Trocknungsprozess ist die relative Luftfeuchtigkeit bedeutender als der Taupunkt der Luft.

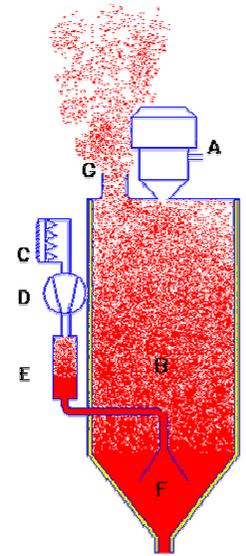
Ein Vermindern des Wassergehalts in der Luft senkt die relative Feuchte auf einen niedrigeren Wert. Ein Erhöhen der Lufttemperatur senkt ebenfalls die relative Feuchte, jedoch sind einer Temperaturerhöhung bei der Granulattrocknung Grenzen gesetzt, da sie unter dem Schmelzpunkt des Granulats bleiben muss. Es gibt aber auch andere Gründe dafür. Nylon beispielsweise darf nur mit einer maximalen Temperatur von 80°C getrocknet werden, obwohl der Schmelzpunkt des Materials deutlich höher liegt. Eine höhere Temperatur würde aber eine Oxidation des Materials nach sich ziehen, solange Sauerstoff im Trocknungsbehälter vorhanden ist. Es macht daher mehr Sinn, den Wassergehalt in der Luft zu reduzieren und damit die relative Luftfeuchtigkeit zu senken.



## DER HEIßLUFTTROCKNER

Oftmals nicht mehr als aus einem Gebläse, einer Heizung und einem Temperaturregler bestehend, sind Heißlufttrockner die älteste, einfachste und unaufwendigste Technologie, welche heiße Umgebungsluft verwendet, um Feuchtigkeit dem Granulat zu entziehen.

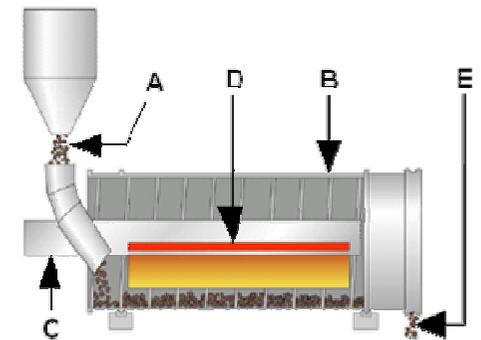
Kunststoffgranulat wird über ein Fördergerät (A) in den Trocknungsbehälter (B) transportiert. Umgebungsluft wird vom Gebläse (D) durch einen Filter (C) angesaugt und über die Heizung (E) und dem Luftverteiler (F) in den unteren Bereich des Behälters eingeblasen. Die erhitzte Luft strömt durch das Granulat nach oben, erhöht die Temperatur des Materials und nimmt dabei die eingelagerte Feuchtigkeit zwischen den Molekülketten und die Oberflächenfeuchte auf. Der heiße Luftstrom verlässt mit der freigegebenen Feuchtigkeit den Behälter oben (G).



Eine andere Art des Heißlufttrockners präsentiert sich in Form des **INFRAROTTROCKNERS**. Das Granulat (A) wird kontinuierlich in eine Trommel (B) geführt. Die Trommel rotiert wie ein Zementmischer um eine horizontale Achse (C) und fördert mit internen, spiralförmigen Rippen das Granulat am Boden der Trommel von einem Ende zum anderen Ende. Eine auf der Achse befestigte Infrarotlampe heizt das rotierende Granulat auf und sorgt damit für die Entfeuchtung.

Die Trommel ist meistens belüftet, wodurch die feuchte Luft ins Freie geleitet wird. Das getrocknete Granulat wird am Punkt (E) für die Verarbeitung entnommen.

Die rotierende Trommel muss aus Sicherheitsgründen in einem Gehäuse eingeschlossen sein. Die horizontale Lage erschwert die Montage über dem Extruder, die Reinigung der Trommel wird durch die Spirallippen sehr erschwert.



Das System eignet sich gut für die Kristallisation von Kunststoffgranulaten wie im Falle von recyceltem PET.

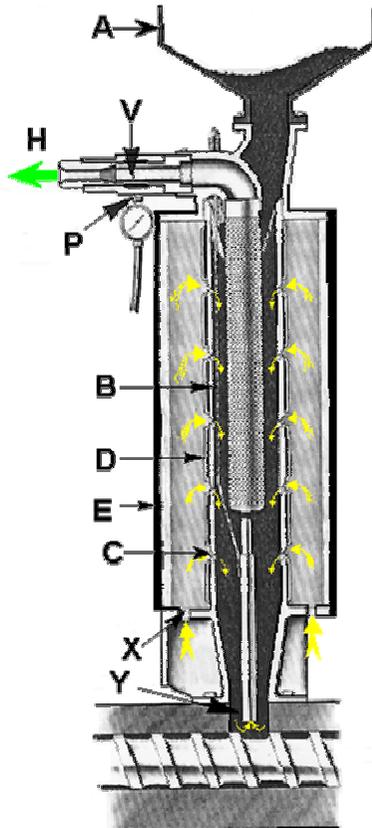
Der **MIKROWELLENTROCKNER** ist auch ein Heißlufttrockensystem. Dabei werden Mikrowellen verwendet, um die Wassermoleküle innerhalb der Kapillaren des Granulats in Bewegung zu versetzen. Die Reibung zwischen den Wassermolekülen und den Molekularketten des Granulats erzeugen Wärme. Der Druck steigt innerhalb der Kapillaren an, wodurch die Feuchtigkeit in kürzester Zeit ausgetrieben wird.

Das System hat sich in der Kunststoffbranche nicht durchsetzen können, da Mikrowellen eine große Gefahr für die Gesundheit darstellen. Die Lebensdauer der Magnetronen (Mikrowellengeneratoren) ist zudem relativ kurz und die Betriebskosten des Systems sind hoch.

Die Weiterentwicklung des Heißlufttrockners ist der „**CACTUS DRYER**“. Dies ist ein Ansatz, Granulat in einem kontinuierlichen Trocknungsprozess bei Unterdruckverhältnissen zu trocknen, um den Feuchtigkeitsentzug aus dem Material zu beschleunigen. Das System ist nur für die Direktmontage auf dem Extruder der Produktionsmaschine erhältlich.

Das Fördergerät (A) füllt den zigarrenförmigen Behälter (B) mit Granulat. Die Behälterwand ist umgeben von Heizbändern (D) und hat viele winzige Löcher (C), die zwischen den Heizbändern verteilt sind. Druckluft (P) wird einer Venturi-Düse (V) zugeführt, um am Ende des Saugrohrs (Y) einen Unterdruck zu erzeugen. Dadurch wird Umgebungsluft über Gänge (X) am Boden des Gehäuses (E) angesaugt. Die Luft wird durch die Heizbänder erhitzt, bevor sie über die winzigen Löcher (C) in den Trocknungsbehälter gelangt. Die heiße Luft strömt nach unten durch das Material und wird über das Saugrohr ins Freie (H) geleitet.

Die Anwendung einer Venturi-Düse erhöht die Betriebskosten. Die Reinigung des Behälters wird erschwert durch die Konstruktion. Die Baugröße ist nur für kleine Materialdurchsatzmengen geeignet, da diese Geräte direkt auf dem Extruder montiert werden müssen.

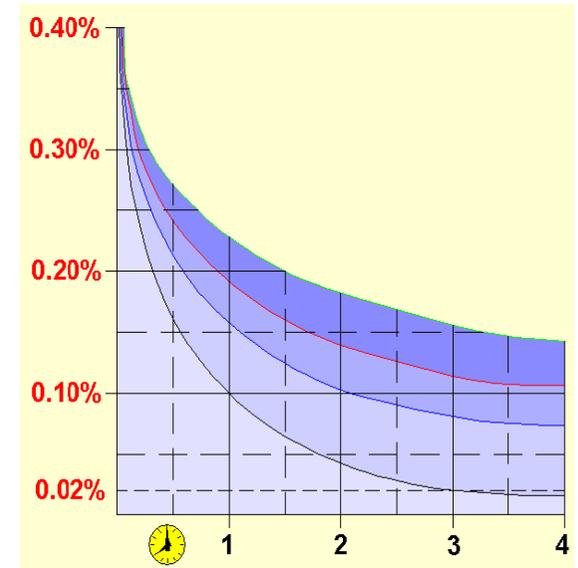


## WARUM TROCKENLUFTTROCKNER?

Der Trocknungsgrad in Heißlufttrocknern ist von der Feuchtigkeit der Umgebungsluft abhängig und daher unbeständig. Deshalb werden sie nur mehr dazu verwendet, um Oberflächenfeuchte von nicht-hygroskopischen Granulaten zu entfernen und um Granulate für den Formprozess vorzuwärmen. Bei der Trocknung von hygroskopischen Materialien müssen Systeme mit getrockneter Luft eingesetzt werden, um eine ausreichende Trocknung zu erzielen.

Den Unterschied zwischen Heißlufttrocknung und Trockenlufttrocknung zeigt nachfolgendes Diagramm.

Die oberen 3 Kurven zeigen das Trocknungsergebnis mit einem Heißlufttrockner bei unterschiedlichen Wetterbedingungen. Die untere Kurve zeigt das Trocknungsergebnis mit einem Trockenlufttrockner.



Kurve 1 – Sommer: 20°C, 80% relative Luftfeuchtigkeit, Taupunkt von 16°C. Eine Restfeuchte von 0,14% wird nach 4 Stunden Trocknungszeit erreicht.

Kurve 2 – Frühling: 15°C, 70% relative Luftfeuchtigkeit, Taupunkt von 9,5°C. Nach 4 Stunden wird eine Restfeuchte von 0,11% erreicht.

Kurve 3 – Winter: 0°C, 70% relative Luftfeuchtigkeit, Taupunkt von -4°C. Eine Restfeuchte von 0,1% wird nach 2 Stunden und 0,07% nach 4 Stunden erreicht.

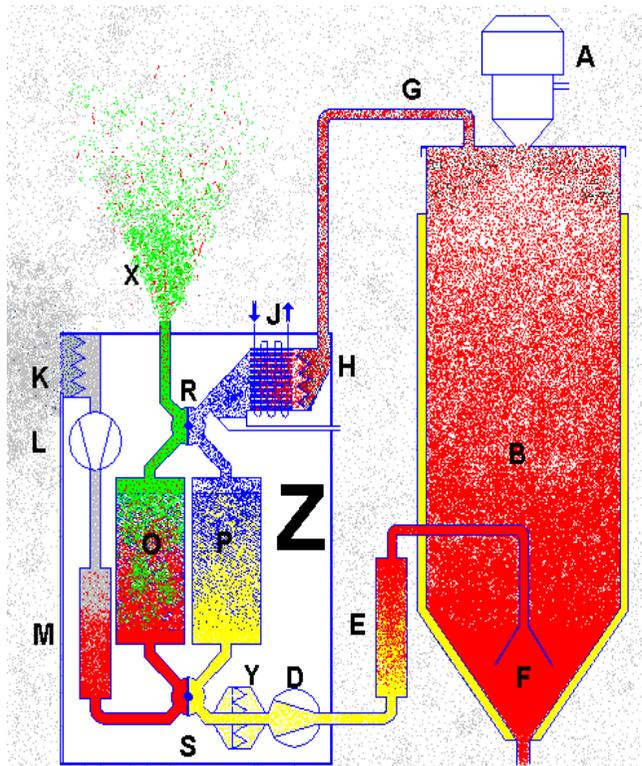
Kurve 4: Trockene Luft mit einem Taupunkt von -20 °C ermöglicht es, die Restfeuchte auf 0,1% in 1 Stunde und auf 0,02 % innerhalb von 3 Stunden zu senken.

Das Diagramm verdeutlicht, dass das Granulat (in diesem Fall Nylon) in beiden Trocknertypen etwa gleich schnell von hoher Anfangsfeuchte (bis 2%) auf eine Restfeuchte von 0,3% getrocknet wird. Im weiteren Verlauf sind aber die Trocknungsergebnisse von Trockenlufttrocknern deutlich besser als die von Heißlufttrocknern.

## DER ADSORPTIONSTROCKNER

Adsorptionstrockner, die einen hohen Prozentsatz der momentan in Anwendung befindlichen Trockner ausmachen, sind der „Goldstandard“ für die Trocknung von Materialien mit einer starken Affinität zu Feuchtigkeit. Anstelle von Umgebungsluft, wie es die Heißlufttrockner verwenden, wird beim Adsorptionstrockner trockene erhitzte Luft dem Granulat zugeführt. Die Prozessluft in einem solchen System zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf. Die Prozessluft, die im unteren Bereich des Trocknungsbehälters eingeblasen wird, besitzt einen wesentlich stabileren Taupunkt im Vergleich zur Umgebungsluft bei Heißlufttrockner. Das Ergebnis sind kürzere Trocknungszeiten und geringere Restfeuchten im getrockneten Material.

Luft wird oben aus dem Behälter (G) über einen Filter (H) und einem optionalen Wärmetauscher (J) zum Trockner (Z) gesaugt. Die Verteiler (R und S) leiten die Luft durch einen der beiden mit Molekularsieb gefüllten Adsorber (O oder P). In Abbildung rechts passiert die Luft den Adsorber (P). Das Molekularsieb (ein stark hygroskopisches Material) adsorbiert die Feuchtigkeit aus der Prozessluft. Die Luft gelangt über den Verteiler (S) auf die Saugseite des Gebläses (D). Das Gebläse befördert die getrocknete Luft durch die Heizung (E) über den Luftverteiler (F) in den unteren Bereich des Behälters (B). Die vom Molekularsieb aufgenommene Feuchtigkeit erhöht sich über die Zeit und muss regeneriert werden.



Das Molekularsieb im Adsorber (O) wird regeneriert, während das Molekularsieb im Adsorber (P) die Feuchtigkeit aus der Prozessluft aufnimmt. Für den Regenerationsprozess saugt das Gebläse (L) Umgebungsluft über den Filter (K) an. In der Heizung (M) wird die Regenerationsluft bis auf 300°C aufgeheizt, bevor sie über den Verteiler (S) in das Molekularsieb im Adsorber (O) geleitet wird. Dort nimmt sie Feuchtigkeit auf und entweicht ins Freie (X). Das erhitzte Molekularsieb wird danach mit Umgebungsluft gekühlt (die Heizung (M) wird ausgeschaltet), bevor es wieder zum Trocknen der Prozessluft verwendet werden kann. Die Verteiler (R und S) schalten um und leiten die Prozessluft zum Adsorber (O) und die heiße Regenerationsluft zum Adsorber (P). Das regenerierte Molekularsieb im Adsorber (O) trocknet nun die Prozessluft, während das gesättigte Molekularsieb im Adsorber (P) regeneriert wird. Zeitrelais oder Taupunktmessgeräte überwachen den Kreislauf.

Alle Adsorptionstrockner arbeiten nach demselben Prinzip. Feuchtigkeit wird aus dem Granulat entfernt und im Molekularsieb zwischengelagert, bevor sie an die Umgebung wieder abgegeben wird.

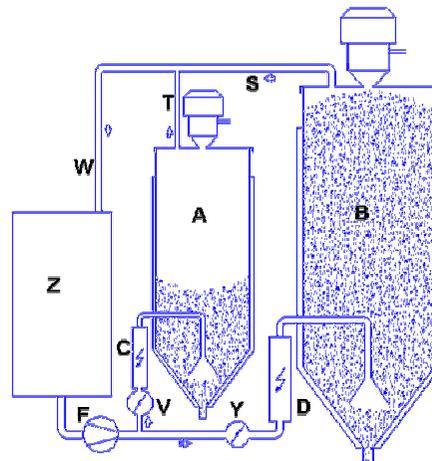
Einige Fakten zu herkömmlichen Adsorptionstrocknern:

- ↪ Neben Energieverlusten beim Regenerationsprozess werden Belastungen durch das Aufheizen des Molekularsiefs auf Regenerationsniveau und anschließendem Abkühlen zur erneuten Trocknung der Prozessluft erzeugt. Über die Zeit zerfallen die Körner des Molekularsiefs, werden zu Pulver und verlieren dadurch die Fähigkeit zum Adsorbieren. Das Pulver kann zudem mit der Prozessluft in den Trocknungsbehälter gelangen. Einige Adsorptionstrockner beinhalten einen optionalen Luftfilter (Y) um ein Verschmutzen des Granulats im Trocknungsbehälter zu verhindern, fügen dadurch aber einen weiteren Wartungsvorgang hinzu.
- ↪ Einige Chemikalien und Additive werden vom Granulat während der Trocknung freigegeben. Diese werden von der Prozessluft zum Adsorber getragen und bedecken die Oberfläche der Molekularsiebkörner, wodurch die Fähigkeit zum Adsorbieren reduziert wird.
- ↪ Tatsache ist, dass Molekularsieb mit Beginn der ersten Regeneration an Effizienz verliert und dass es ersetzt werden muss, wenn es nicht länger fähig ist, die Prozessluft auf einen akzeptablen Taupunkt zu trocknen.
- ↪ Bei Trocknungstemperaturen über 110°C ist die Temperatur der Rückluft (G) normalerweise hoch. Das Molekularsieb adsorbiert keine Feuchtigkeit aus heißer Luft. In solchen Fällen muss die Rückluft (G) in einem Wärmetauscher (J) mit Kaltwasser gekühlt werden, bevor sie ins Molekularsieb gelangt. Das bedeutet Energieverschwendung, da die Luft zuerst gekühlt und dann wieder in der Heizung (E) auf die notwendige Trocknungstemperatur erhitzt werden muss.

- ↗ Viel Energie wird vom Prozessluftgebläse verbraucht, welches die Luft durch das Material im Behälter (B), durch den Luftfilter (H), durch die Verteiler (R und S) und durch das Molekularsieb (O oder P) zirkulieren lassen muss.
- ↗ Granulatstaub aus dem Trocknungsbehälter wird über den Filter (H) aus der Prozessluft entfernt. Die Luftfilter müssen regelmäßig gereinigt oder gewechselt werden. Verschmutzte Filter reduzieren den Luftstrom und verringern dadurch die Trocknungsleistung.
- ↗ Die Luftverteiler (R und S) sind bewegliche Teile und neigen zu Abnutzung und Verschleiß. Leckagen in den Luftverteilern verursachen eine unerwünschte Vermischung von Prozessluft mit Regenerationsluft.
- ↗ Der Wechsel nach dem Regenerationsprozess von einem Adsorber zum anderen verursacht abrupte Änderungen in der Prozesslufttemperatur. Dadurch gleitet die Temperatur unfreiwillig aus den erlaubten Grenzen und überhitzt die Oberfläche der Materialkörner im unteren Bereich des Trocknungsbehälters. Die Benutzer neigen dazu, die Prozesstemperatur niedriger zu stellen, um Temperaturspitzen zu vermeiden, reduzieren dabei aber die Trocknungsleistung und verlängern dadurch die Trocknungszeit.

Einige Hersteller von Adsorptionstrocknern verwenden große Adsorber mit Molekularsieb, um die Zeit zwischen dem Adsorberwechsel zu verlängern. Andere setzen mehr als zwei Adsorber in einem rotierendem Karussell ein, um einen stabileren Taupunkt zu erreichen. Einige Hersteller bieten ein zentrales Adsorptionstrocknungssystem an, um Anschaffungskosten zu reduzieren und die Nutzfläche klein zu halten. Dieses zentrale System besteht aus einem Adsorptionstrockner, der trockene Luft zu mehreren Trocknungsbehältern mit unterschiedlichen Größen liefert.

Das Gebläse (F) saugt getrocknete Luft aus dem Adsorptionstrockner (Z) an und bläst es in ein verzweigtes Rohrleitungssystem, um mehrere Trockner mit Trockenluft zu versorgen. Nebenstehendes Beispiel zeigt zwei verschieden große Behälter (A und B). Über eine Abzweigung gelangt getrocknete Luft durch das Drosselventil (V) und durch die Heizung (C) in den Behälter (A). Der andere Zweig versorgt Behälter (B) über das Drosselventil (Y) und über die Heizung (D) mit Trockenluft.



Die Prozesstemperatur wird für jeden Behälter entsprechend der zu trocknenden Materialtype gesondert eingestellt. Die Drosselventile (V und Y) sind verstellbar, sind aber normalerweise fix eingestellt, um jeden Behälter entsprechend der Größe mit entsprechender Luftmenge zu versorgen. Dabei wird angenommen, dass beide Behälter komplett mit Material mit einer spezifisch berechneten Schüttdichte gefüllt sind. Die Rückluft aus jedem Behälter (T und S) wird in einer gemeinsamen Rohrleitung (W) gesammelt, die zum Adsorptionstrockner (Z) zurückführt.

Die Rückluft enthält unerwünschte Feuchtigkeit sowie Chemikalien und Additive, die vom Granulat in jedem Behälter abgegeben werden.

Die Feuchtigkeit wird der Prozessluft im Adsorptionstrockner entfernt, die Additive werden aber miteinander vermischt und kehren zu beiden Trocknungsbehältern zurück. Additive und Chemikalien, die aus dem einen Behälter (B) mitgenommen werden, können dem Granulat im anderen Behälter (A) schaden.

Die Möglichkeit, dass einer der Behälter nicht komplett gefüllt oder sogar leer ist, führt zu einer schlechten Luftverteilung zwischen den Behältern. Automatische Drosselklappen können anstelle von manuell einzustellenden Drosselventilen verwendet werden, um die entsprechend der Behältergrößen berechneten Luftmengen einzuhalten. Jedoch unterliegen diese Teile auch der Abnutzung und dem Verschleiß und erhöhen die Anschaffungskosten des Systems.

Die Erfindung des Adsorptionsrades war eine bemerkenswerte und sehr bedeutende Entwicklung in der Geschichte von Adsorptionstrocknern. Dieses löste einige der klassischen Adsorptionstrocknungsprobleme.

Das Rad rotiert kontinuierlich. Dadurch sind keine Temperaturspitzen zu erwarten, und es gibt auch kein Umschalten zwischen einzelnen Adsorbern.

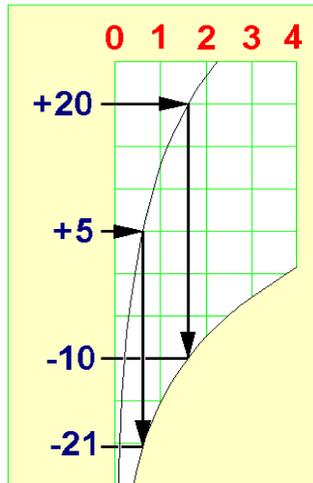
Das Rad wird von kalter trockener Luft gekühlt, bevor es den Prozessluftabschnitt durchläuft. Dadurch erhöht sich der Wirkungsgrad und verringert sich der Energieverbrauch.

Die Lebensdauer des Rades ist zwar immer noch begrenzt, ist aber gewöhnlich höher als die Lebensdauer des Molekularsiebs beim klassischen Adsorptionstrockner.



## DER DRUCKLUFTTROCKNER

Der Druckluft-Granulattrockner wurde von Rainer Farrag 1991 erfunden, um die Vorteile eines Adsorptionstrockners zu nutzen und dessen Nachteile zu vermeiden. Der Drucklufttrockner verwendet trockene Luft, um – wie auch andere Trocknungssysteme – hygroskopische Materialien zu trocknen. Anstelle von Luft, die in Adsorptionstrocknern entfeuchtet wird, verwendet dieses System vorgetrocknete Druckluft, welche dekomprimiert, aufgeheizt und danach im Behälter verteilt wird.



Der Taupunkt dieser Luft steht in direkter Beziehung zum Wassergehalt der Luft und zum Luftdruck. Die Wassermenge, die 1kg Luft bei einer bestimmten Temperatur (dem Taupunkt) sättigt, hängt vom Luftdruck ab. Die Wassermenge, die 1kg trockene Luft bei 20°C und einem Druck von 7bar sättigt, ist dieselbe, die 1kg Luft bei atmosphärischem Druck (auf Meereshöhe) bei -10°C sättigt. Gesättigte Druckluft mit einem Druck von 7bar und einer

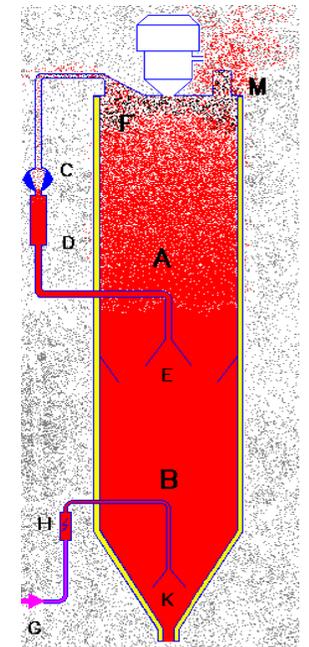
Temperatur von 5°C besitzt einen Taupunkt von 5°C, welcher auf -21°C absinkt, wenn die Luft auf atmosphärischen Druck (bei Meereshöhe) entspannt wird. Luft mit solch einem Taupunkt ist besonders geeignet, um hygroskopische Materialien zu trocknen.

Das System verwendet zwei übereinander liegende Bereiche im Behälter. Das Granulat wird im oberen Bereich durch zirkulierende Luft erhitzt, die den Feuchtigkeitsdruck erhöht und dadurch die Feuchte aus den Kapillaren zieht. Eine deutlich geringere, erhaltene Trockenluftmenge wird im unteren Bereich des Behälters verwendet, um noch mehr Feuchtigkeit aus dem Material zu entziehen und diese dann durch einen am Behälterdeckel montierten Filter ins Freie zu befördern.



Das Gebläse (C) fördert Luft durch die Heizung (D) zum Luftverteiler (E). Die erhitzte Luft strömt in den oberen Bereich des Behälters (A), erwärmt dabei das Granulat und gelangt oben aus dem Behälter (F) wieder zurück zum Gebläse.

Eine geringe Menge vorgetrockneter Druckluft (G) wird auf atmosphärischen Druck entspannt und strömt über die Heizung (H) und den Luftverteiler (K) ganz unten im Behälter ein. Der Taupunkt der vorgetrockneten Luft sinkt infolge der Expansion und eignet sich bestens, um die Feuchtigkeit aus dem vorgewärmten Granulat im unteren Bereich des Behälters (B) zu entziehen. Die Trockenluft setzt den Weg durch den Behälter nach oben (A) fort, nimmt dabei alles an freigegebener Feuchtigkeit mit und verlässt den Behälter durch den am Deckel montierten Filter (M).



Fakten über den Drucklufttrockner:

- ↪ Gesättigte Druckluft mit einem Druck von 7bar und einer Temperatur von 5°C besitzt einen Taupunkt von 5°C, der auf -21°C sinkt, wenn die Luft auf atmosphärischen Druck entspannt wird. Ein solcher Taupunkt eignet sich hervorragend zur Trocknung von hygroskopischen Materialien.
- ↪ Moderne Schraubenkompressoren zur Erzeugung von Druckluft sind besonders zuverlässig und bedürfen praktisch keiner Wartung.
- ↪ Eine abgelegene zentrale Drucklufteinheit liefert vorgetrocknete Luft für verschiedene Trocknungsbehälter und für andere Komponenten im Werk, wodurch sich Anschaffungskosten, Betriebskosten und Wartung verringern.
- ↪ Es ist bewiesen, dass die Kosten zur Erzeugung von Druckluft deutlich geringer sind als die Kosten zum Regenerieren von Adsorptionstrocknern.
- ↪ Eine Reduktion an beweglichen Teilen auf ein kleines Gebläse sichert einen wartungsfreien Betrieb und eine lange Lebensdauer ohne Leistungsminderung.
- ↪ Ein Vorwärmen des Granulats im oberen Bereich des Behälters und die Verteilung der Trockenluft im Behälter unten sichert bessere Trocknungsergebnisse und reduziert den Energieverbrauch. Das Material ist für ausreichende Zeit maximaler Temperatur ausgesetzt, wodurch das Granulat durchgehend im gesamten Bereich erhitzt wird.
- ↪ Das Abtrennen des Luftstroms für die Materialerwärmung (Sekundärluft) vom Luftstrom für die Granulattrocknung ermöglicht eine bessere Regelung und mehr Energieersparnis, wenn der Trockner nicht mit vollem Materialdurchsatz betrieben wird.

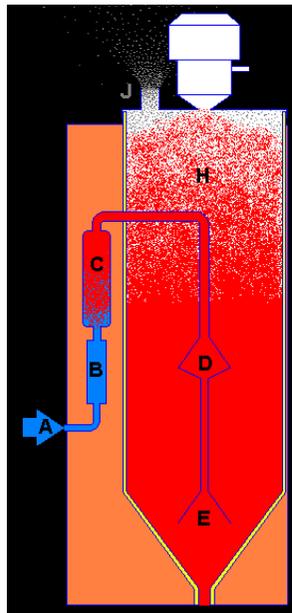
- ↪ Die hohe und schlanke Behälterbauform sichert einen exzellenten Materialfluss und eine exzellente Luftströmung.
- ↪ Da kein Kaltwasser für die Granulattrocknung mit hohen Temperaturen benötigt wird, werden Energie- und Wartungskosten gespart.
- ↪ Wärmerückgewinnung vom Druckluftkompressor und mögliche Wärmerückgewinnung von einigen Kunststoffproduktionsmaschinen ermöglichen eine Senkung des Energieverbrauchs des Trocknungssystems auf beinahe null.
- ↪ Das CARD (Compressed Air Resin Dryer) ist mit dem FIT (Farrag Intelligent Terminal) ausgestattet, einer Mikroprozessorsteuerung mit graphischem Display, die den Energiefluss regelt, ein Absenken der Trocknungstemperatur zur Vermeidung einer Überdrehung ermöglicht, 2 Fördergeräte steuern kann und vielem mehr.
- ↪ Das CARD ist in 10 verschiedenen Größen bis zu einem Materialdurchsatz von 1200 kg/h erhältlich.

Eine einfachere Form des Drucklufttrockners für geringe Materialdurchsätze, ohne bewegliche Teile und praktisch wartungsfrei ist ebenfalls erhältlich.

Eine kleine Druckluftmenge (A) wird vom zentralen, werkseitigen Druckluftnetz abgezweigt und dem Trockner zugeführt. Die Druckluft wird über eine Reihe von Ventilen (B) entspannt, in der elektrischen Heizung (C) erhitzt und über den Luftverteiler (E) am Boden des Behälters (H) eingeblasen. Der Luftverteiler gibt die Luft durch Öffnungen (D) und (E) auf verschiedenen Ebenen im Behälter frei, wodurch sichergestellt wird, dass die Verweilzeit des Granulats bei maximaler Temperatur ausreichend ist und die Granulatkörner durchgehend bis in den Kern im gesamten Bereich erwärmt werden.

Der Druckluftverbrauch variiert und passt sich dem Materialdurchsatz an. Der Behälter ist schlank und hoch gebaut, um einen trichterförmigen Materialfluss zu unterbinden.

Die kleinen Trockner sind für eine Montage direkt auf dem Extruder von Kunststoffproduktionsmaschinen geeignet, können aber auch am Boden mit montiertem Saugkasten aufgestellt werden, der es ermöglicht, das getrocknete Material in einen Vorratsbehälter auf dem Extruder zu transportieren. Sie weisen keine Leistungseinbußen über die Zeit auf, und die Trocknungsergebnisse sind hervorragend, solange die verwendete Druckluftqualität dem Standard entspricht.

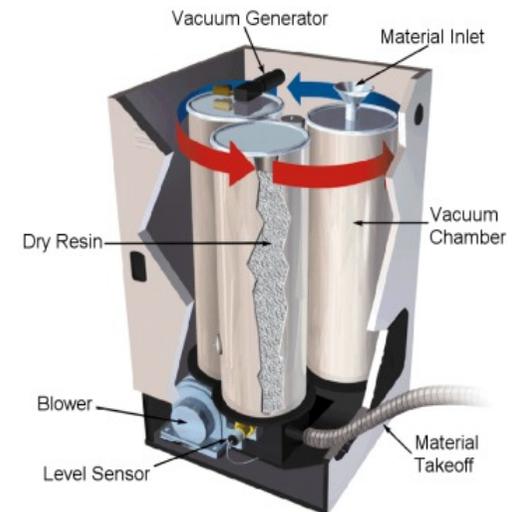


## DER VAKUUMTROCKNER

Vakuumtrockner sind seit Jahrzehnten als Chargentrocknungssystem bekannt, aber in der Kunststoffindustrie nicht weit verbreitet, da bekannt ist, dass sie nur jeweils eine Charge an Kunststoffgranulat trocknen können. Die Vakuumchargentrockner sind einfach, schnell und sehr effizient.

Rainer Farrag entwickelte 1993 den Vakuumtrockner für die kontinuierliche Trocknung. Die Erfahrung hat aber bewiesen, dass dieses System aufgrund von vielen beweglichen Teilen zu kompliziert ist.

Der Trockner besteht aus mehreren Behältern in einer Karussellanordnung. Das Material wird in eine der Kammern eingefüllt und mit heißer Luft aufgeheizt. Das Karussell wird gedreht, wobei die mit Granulat gefüllte und aufgeheizte Kammer unter Vakuum gesetzt wird, während die nächste Kammer befüllt und aufgeheizt wird. Das Karussell wird erneut gedreht, das getrocknete Material aus der Kammer entleert, während die nächste Kammer unter Vakuum gesetzt wird, um das erhitzte Granulat zu trocknen. Das Karussell dreht sich fortlaufend und der Trockner liefert kontinuierlich getrocknetes Material zur Verarbeitung.



Granulatkörner und Staub aus dem getrockneten Material gerät während der Drehung zwischen die beweglichen Teile des Karussells und die Dichtungen der Kammern. Dadurch kann das benötigte Vakuum nicht mehr erzeugt werden. Der Trocknungsprozess versagt und der Trockner muss gereinigt werden, um das gewünschte Vakuum wieder herstellen zu können. Das Reinigen der Kammern ist eine mühsame Arbeit, dass bei Wechsel von einem Material auf das nächste durchgeführt werden muss oder wenn unterschiedliche Farben getrocknet werden möchten. Die Kammern müssen dazu aus dem Karussell ausgebaut und außerhalb des Geräts gereinigt werden. Viele bewegliche Teile unterliegen Abnutzung und Verschleiß, die einen hohen Wartungsaufwand bedeuten.