

Druckluftaufbereitung zur Verhinderung von Umweltverschmutzung am Arbeitsplatz

Dipl.-Ing. D. Kronsbein, Haan

Zusammenfassung

In der heutigen hochkomplizierten Prozesstechnik und den immer leistungsfähiger werdenden Maschinen muß die Hilfsenergie Druckluft aufbereitet werden, um Druckluftanwendungen wirtschaftlich zu machen. Zum Ende der achtziger Jahre wird von der "International Standard Organization" (ISO) der Industrie eine Norm zur Verfügung gestellt, die den Aufbereitungsgrad und die Druckluftqualität nach Anwendungsbereichen definiert. Diese Regeln liegen dem Verbraucher bereits als sogenannte PNEUROP-Empfehlungen vor. Gemäß dieser Empfehlung sollen schon heute mehr als 70% aller möglichen Druckluftanwendungen mit maximal zulässigen Restwassergehalten von weniger als $0,7 \text{ g/m}^3$ betrieben werden. Die neuen Hochleistungstrockner ultrapac mit der -20 Grad C-Technologie sind die Antwort auf die Forderung der Industrie nach reiner, betriebssicherer und kostengünstiger Druckluft.

1. Einleitung

Druckluft wird heute in der Industrie in vielfältiger Weise eingesetzt: z.B. zum Steuern und Regeln, zur Betätigung von Ventilen und Werkzeugen, als Antriebsenergie für Motoren, zur Förderung von Gütern oder für Farbspritzanlagen. Nicht aufbereitete Druckluft löst bei Anwendung eine Kostenlawine aus. Öl, Wasser und Schmutz in der Kompressorluft zerstören Geräte und Systeme. Die Folge sind Ausfallzeiten, Rohstoffverluste, überhöhte Personalkosten, höherer Verschleiß, Reparaturkosten, mehr Energieaufwand, mindere Produktqualität, verzögerte Liefertermine.

2. Verunreinigungen in der Druckluft

Vom Kompressor angesaugte und verdichtete Druckluft enthält ca. 140 Millionen Schmutzpartikel pro Kubikmeter. Der Ansaugfilter des Kompressors kann sie nicht abfangen. Sie gelangen ungehindert in das Druckluftnetz.

Und dann ist da natürlich auch der Kompressor selbst als Produzent von Verunreinigungen. Schmieröl und Abrieb der Kolbenringe zum Beispiel sind große Schadensursachen im Druckluftnetz. Eine Verdichtung auf 7 bar erhöht die Konzentration der Schadstoffe auf das Achtfache. Unter dem Einfluß des stark erhöhten Sauerstoffanteils und der Verdichtungstemperatur oxidiert das Schmieröl und wird aggressiv.

Durch die Verdichtung feuchter atmosphärischer Luft aus etwa 7 bar mit anschließender Kühlung auf Gebrauchstemperatur wird automatisch Wasserdampf in der Rohrleitung kondensiert. Dieses Kondensat bindet gleichzeitig die in der Atmosphärenluft enthaltenen Gase. Es entstehen wäßrige Säuren. Neueste Untersuchungen von Wasserkondensat an Filtern und Trocknern haben bewiesen, daß das Kondensat hochaggressiv ist, mit einem PH-Wert bis herab zu 4 oder 3 in extrem belasteten Gebieten.

Angesaugte Verunreinigungen, Feuchtigkeit und oxidiertes Schmieröl sind zerstörende Faktoren an allen Druckluftanlagen und -systemen.

2.1 Wasserdampf führt zu Korrosion

Durch die Verdichtung feuchter atmosphärischer Luft auf etwa 7 bar mit anschließender Kühlung und Gebrauchstemperaturen wird automatisch Wasserdampf in Rohrleitungen kondensiert. Das Kondensat bindet gleichzeitig die in der Umgebungsluft enthaltenen Gase, wie SO₂, NO_x, NH₃, CO, CO₂, etc.. Es bilden sich wäßrige Säuren. Das Kondensat wird hoch aggressiv. Nicht nur Kondensat, sondern auch Wasserdampf ruft Korrosion hervor. Wirksam bekämpft ist das rostige Problem nur, wenn relative Feuchten von weniger als 30% unter Betriebsdruck erreicht werden. Neben den 140 Mio. Schmutzpartikeln, dem Wasser, den Gasen, ist auch der Kompressor ein Produzent von Verunreinigungen. Schmieröl und Abrieb verursachen nicht selten Schäden im Druckluftsystem. Eine Verdichtung auf 7 bar erhöht die Konzentration von Öl auf das Achtfache; unter dem Einfluß des stark erhöhten Sauerstoffanteils und der hohen Verdichter-Endtemperatur oxidiert das Schmieröl und wird aggressiv. Öldampf und Ölaerosole schlagen sich im gesamten Druckluftnetz nieder und bilden mit dem Wasserdampf eine gefürchtete Emulsion.

2.2 Vereisen und Bakterienwachstum

Druckluftverbraucher können unter zweierlei Bedingungen vereisen: Wenn nicht ausreichend getrocknete Druckluft im Winter auf unter 0 Grad C abkühlt, sublimiert der in der Druckluft enthaltene Wasserdampf zu Eis und das vorhandene Kondensat bzw. die Feuchtigkeit gefriert. In Pneumatikprozessen nutzt man die Entspannungsenergie zum Antreiben und Steuern. Bei der Entspannung kühlt sich die Luft entsprechend den Gasgesetzen ab, bis herab auf -20 Grad C und mehr.

Mikro-Organismen, die in der Luft vorkommen, benötigen Feuchtigkeit zum Wachstum und zur Population. Relative Feuchte von 100%,

Drucklufttemperaturen von 20 bis 40 Grad C und die achtfach erhöhte Sauerstoffkonzentration stellen ideale Wachstumsbedingungen dar. Wenn man einmal Keimnester im Druckluftnetz hat, bilden sich schnell Kümmerformen oder thermo-resistente Sporen, die auch durch Dampfsterilisationen nicht abgetötet werden können.

Die Kontamination ist damit auf ewig im Druckluftnetz. Drucklufttrocknung ist aus zwei Gründen technisch erforderlich:

Um das Druckluftnetz ganz allgemein vor Bakterienbefall zu schützen und um Keimnester in weitverzweigten und teilweise kilometerlangen Rohrleitungssystemen zu verhindern, ist es zweckmäßig, die relative Feuchte auf unter 70% abzusenken, da typische Luftbakterien ihr Wachstum dann einstellen.

Viele industrielle Sterilfilter benötigen trockene Druckluft, um die "Kaltsterilisation" der Druckluft auf mechanischem Wege garantiert sicherzustellen. Bei Tiefenfiltern zum Beispiel ist eine relative Feuchte von weniger als 95% grundsätzlich Voraussetzung zur einwandfreien Sterilfiltration. Garantierte Sicherheit ist jedoch erst bei relativer Feuchte von weniger als 70% gegeben.

2.3 Druckluftkosten

Druckluft kostet im Durchschnitt etwa 2,6 Pfg pro erzeugtem m³ Energie. Nicht aufbereitete Druckluft kann eine Kostenlawine auslösen, die ein mehrfaches der Erzeugungskosten betragen kann. Entsprechend den PNEUROP/ISO-Empfehlungen erfordern 80% aller Anwendungen der industriellen Druckluft mindestens die Qualitätsklasse 3 bzw. 2, d.h. Restölgehalte sollten 0,1 mg/m³ nicht überschreiten und Drucktaupunkte sollten zwischen +5 Grad C und -20 Grad C gewählt werden. Die Kosten für eine Druckluftaufbereitung über Kältetrockner und Filtrationssystemen belaufen sich im Mittel auf 0,35 Pfg/m³, während Druckluft mit garantiert trockener und reiner Druckluft rund 0,5 Pfg/m³ kostet.

2.4 Betriebskosten

Das Betreiben einer Druckluftanlage bei -20 Grad C ist naturgemäß teurer als bei +5 Grad C. So erhöhen sich die Gesamt--Druckluftkosten um 6,5% (bei einem Zwei-Schichten-Betrieb) bzw. um 5% (bei einem Ein-Schichten-Betrieb). In die Kostenrechnung sind alle Faktoren eingeflossen, die berücksichtigt werden müssen:

- * Investition (Zinsen und Abschreibung)
- * Energiekosten, Regenerationsgasverbrauch, Druckverlust
- * regelmäßig anfallende Kosten für Filterelemente und Wartungsvertragskosten

So kostet 1m³ Druckluft, durch Kältetrockner-System aufbereitet, bei einem Ein-Schichten-Betrieb 0,41 Pfg./m³. Durch die hohe Bewertung der Druckluft-Regenerationskosten wird der Betrieb von Adsorptionstrocknern (mit einem Drucktaupunkt von -20 Grad C) auf 0,56 Pfg./m³ erzeugter Druckluft ebenfalls bei einem Ein-Schichten-Betrieb berechnet.

Um den wirtschaftlichen Nutzen der Druckluft zu sichern, muß das Druckluftnetz als Gesamtheit betrachtet werden: vom Erzeuger bis hin zum Verbraucher. Nur die zentrale - in Verbindung mit der dezentralen - Aufbereitung sichert geringste Betriebskosten und den größten wirtschaftlichen Nutzen. Die zentrale Druckluftaufbereitung schützt das gesamte Rohrnetz vor Verrottung und Rost, Ölkohle- und anderen Ablagerungen; außerdem werden zähflüssige Emulsionen im gesamten System verhindert, Bakterienwachstum und Keimnester, hervorgerufen durch hohe relative Feuchte, werden ausgeschlossen. Die Grundlage für die wirtschaftliche Betreibung der Point-of-use-Aufbereitung ist nur so gesichert. Ergänzend wird die dezentrale PNEUROP/ISO--Qualitätsklasse betrieben. Die Anforderungen an die Reinheit der Druckluft ist in den PNEUROP-Empfehlungen beschrieben. Für mehr als 80% der dort beschriebenen Druckluftanwendungen werden Drucktaupunkte von besser als +2 Grad C bzw. -20 Grad C gefordert. Man kann davon ausgehen, daß in den nächsten Jahren das Anforderungsprofil an die Druckluftqualität noch verfeinert wird und die Masse der industriellen Druckluftanwendungen einen Drucktaupunkt von -5 Grad C bis -20 Grad C benötigen.

3. Methoden der Drucklufttrocknung

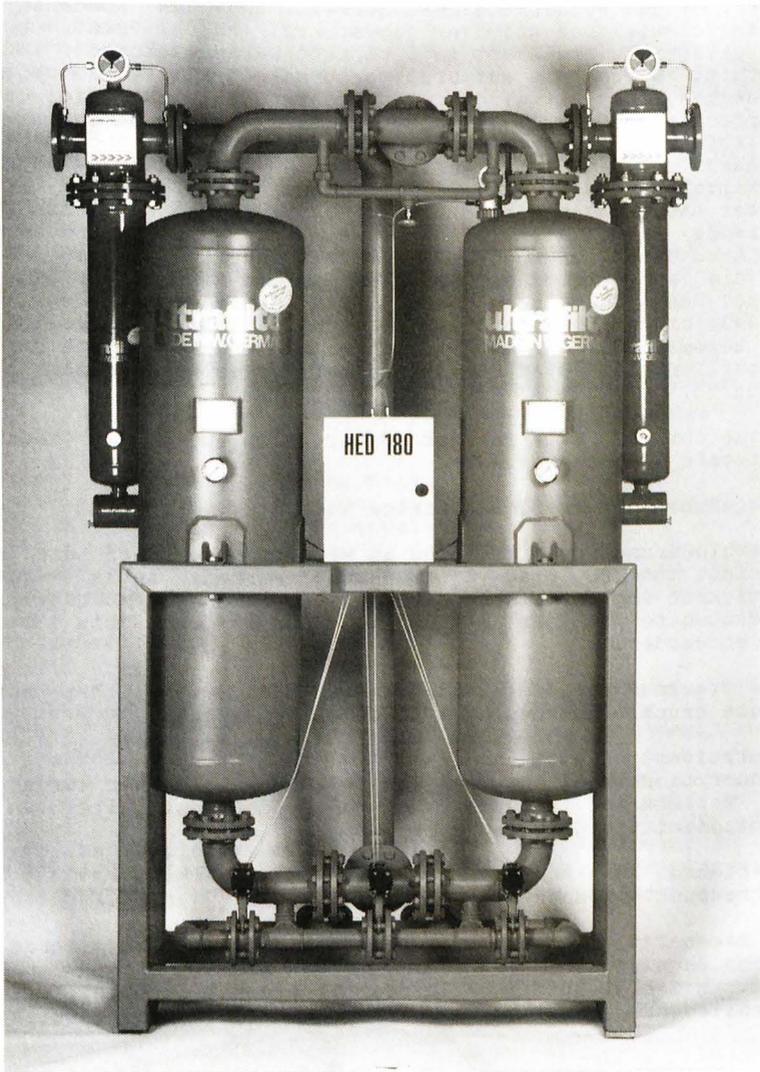
Je nach Grad der erforderlichen Trockenheit kann man unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit die verschiedensten Methoden anwenden. Übliche Trocknungsverfahren sind:

* Überdichtung

Dieses Verfahren wird normalerweise nur bei kleineren Luft- und Gasmengen angewandt. Spezialapparaturen und Trockenmittel werden nicht benötigt, jedoch von besonderem Nachteil ist der höhere Energiebedarf. Ferner sind die überproportional hohen Investitionskosten für Hochdruckverdichter und Hochdruck-Nachkühler zu berücksichtigen.

* Adsorptionstrocknung

Im Gegensatz zum Adsorptionsverfahren handelt es sich um einen technochemischen Vorgang. Der Taupunkt ist von der Eintrittstemperatur abhängig, also schwankend zwischen +16 Grad C und +22 Grad C. Der Trockner ist sehr einfach im Aufbau, kann jedoch nur diskontinuierlich betrieben werden. Das Trockenmittel muß hundertprozentig vor Öl geschützt werden.



*Kältetrocknung

Die Hochleistungstrockner sorgen für reine trockene Druckluft. Die Aufbereitung der Druckluft erfolgt in 5 Stufen. Zunächst gelangt die verunreinigte Druckluft in den Vorfilter (Stufe 1), wird von Schmutz, Öl und Wasserkondensat befreit und das Kondensat über automatisch wirkende Ableiter abgeführt. Anschließend wird die wassergesättigte Druckluft im Luft/Luft-Wärmeaustauscher (Stufe 2) abgekühlt. Durch die auf Drucktaupunkt abgekühlte, im Gegenstrom austretende Druckluft wird eine Vorkühlung erreicht, die ca. 2/3 der erforderlichen Kälteleistung einspart. Das Kondensat wird über einen Kondensatableiter abgeführt.

Die Abkühlung auf den erforderlichen Drucktaupunkt erfolgt im Kältemittel/Luft-Wärmeaustauscher (Stufe 3). In einem Spezialdemister (Stufe 4) werden die Kondensattröpfchen abgeschieden. Das anfallende Kondensat wird über einen zweiten Kondensatableiter abgeführt. Durch den Luft/Luft-Wärmeaustauscher erwärmt, gelangt dann die so getrocknete Druckluft in den Mikrofilter (Stufe 5). Partikel und Ölaerosole werden mit einem Abscheidegrad von 99,99998% bis herab zu 0,01 Micron kontinuierlich abgeschieden und über automatische Ableiter geführt. Die Drucktaupunkte sind einstellbar von +2 Grad C bis +10 Grad C. Der Restölgehalt beträgt 0,01 mg/m³.

Vorteile für den Kältetrockner im Vergleich zu anderen Trocknern:
- geringere Betriebskosten.

Dem gegenüber stehen jedoch einige Nachteile:

Zur Verhinderung von Eisbildung im Wärmetauscher darf die Druckluft nicht unter 0 Grad C abgekühlt werden; somit werden in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur und der Durchflussmenge Drucktaupunkte in der Praxis von nur +5 Grad C bis +10 Grad C erreicht werden.

Dieses Trocknungsverfahren eignet sich im wesentlichen nur für einfache Druckluftanwendungen in beheizten Räumen.

* Adsorptionstrocknung

Die Adsorptionstrocknung ist ein rein physikalischer Vorgang, bei dem Wasserdampf durch Molekular-Adhäsionskräfte an das Adsorptionsmittel gebunden wird.

Das Verfahren kann kontinuierlich betrieben werden.
Drucktaupunkte können bis -80 Grad C erzielt werden.

Zur Regeneration des Trockenmittels werden überwiegend fünf Methoden angewandt:

- erhitzte Gebläseluft, kombiniert mit einem Trockenteilluftstrom
- innenliegende Heizstäbe, kombiniert mit einem Trockenteilluftstrom

- Trockenteilstrom (Heatless-Verfahren).
Ein entspannter Teilstrom bereits getrockneter Druckluft wird zur Desorption verwendet.
- Durch Ausnutzen der Verdichterwärme zur Regeneration wird die durch die Überverdichtung entstandene Wärme genutzt.
- Im geschlossenen Kreislaufverfahren, ohne Druckluftverluste, wird erhitzte Gebläseluft regeneriert, anschließend abgekühlt und zur Kühlung eingesetzt.

* Heatless Verfahren

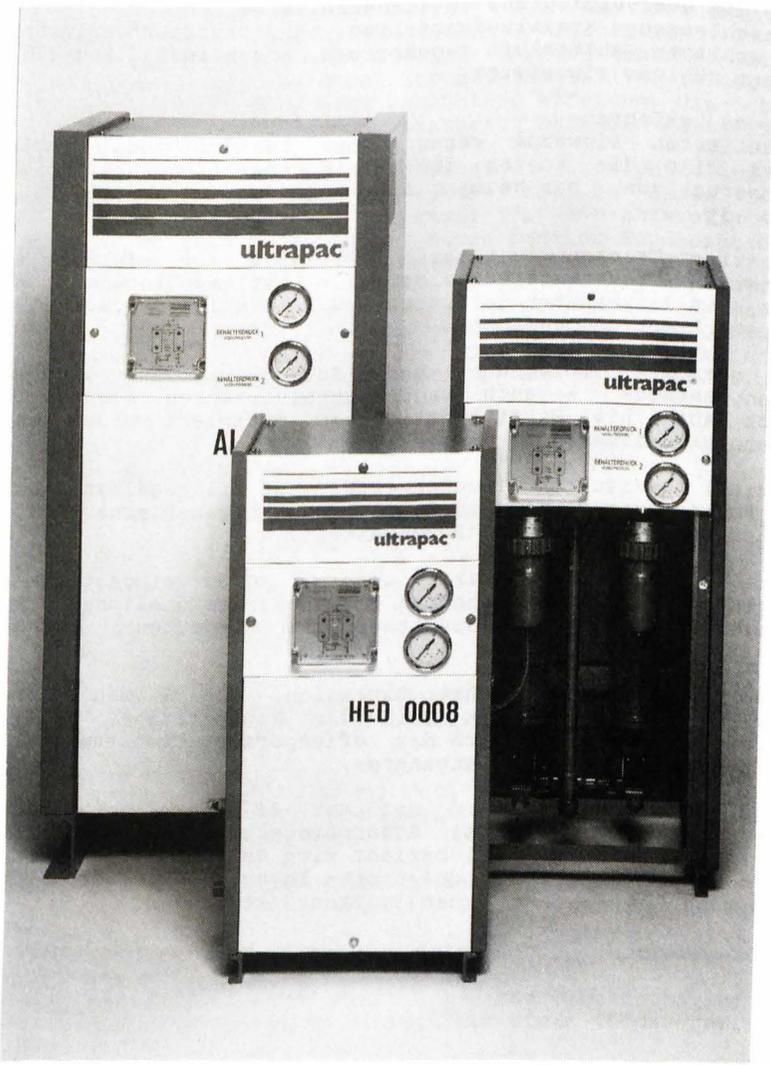
Die häufigsten Einwände gegen einen herkömmlichen Heatless--Trockner sind die Kosten für die Regenerationsluft. Bei einem Betriebsdruck von 7 bar beträgt der Regenerationsluftbedarf etwa 12% bis 15%.

Das Heatless-Trocknungsverfahren ist eine der sichersten und einfachsten Trocknungstechnologien. Heatless-Trockner werden bereits seit Jahrzehnten gefertigt und sind millionenfach in aller Welt installiert und bewährt.

Durch gezielte Forschung und Entwicklung ist die letzte Trocknungsmethode - auch Druckwechselerfahren genannt - im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit optimiert worden und zwar durch drei Maßnahmen:

- Speziell gemischtes Trockenmittel auf Silicagelbasis ist mit einer Porenstruktur von 20-30 Å. Die Regenerierbarkeit ist einfacher als bei feineren "Porenweiten".
- Der Drucktaupunkt wird auf -20 Grad eingestellt (das Gleichgewicht ist also verschoben gegenüber herkömmlichen -40 Grad Trocknern). -20 Grad Drucktaupunkte bedeuten geringeren Regenerationsaufwand.
- Die schlagartig durchgeführte Expansion, alle 5 Min., bewirkt bereits einen wesentlichen Teil der Regeneration. Dies wird insbesondere begünstigt durch das offenporige Trockenmittel und die Verschiebung des Drucktaupunktes.

Durch diese Maßnahmen wird mit der -20 Grad - Technologie der Spülgasanteil von 15 % (bei Adsorptionstrocknern) auf 12,5 % reduziert. Der Spülgasanteil bezieht sich auf den Nominaldurchfluß des Trockners. Damit sind drastische Energieeinsparungen von bis zu 15 % gegenüber herkömmlichen Trocknern verbunden.



4. Selbstregenerative Arbeitsweise

Die Hochleistungstrockner ultrapac scheiden alle diese Verunreinigungen der Druckluft wirkungsvoll ab. Die Aufbereitung der Druckluft erfolgt in 5 Stufen.

Die gesättigte / übersättigte Druckluft gelangt zunächst in den Hochleistungsmikrofilter (Stufe 1) und wird von Wasserkondensat sowie Aerosolen und Schmutz befreit.

Die so gereinigte Druckluft strömt dann in den Diffusor des Trockenbehälters und wird über ein Inertkugelbett (Stufe 2) gleichmäßig auf den Querschnitt verteilt.

Anschließend durchströmt die 100 % gesättigte Luft die Naßzone (Stufe 3), in der eine Vortrocknung über wasserresistente Trockenmaterialien erfolgt.

Die eigentliche Trocknung erfolgt durch ein stark hygroskopisches Trocknungsmaterial - ultrasorp 25 (Stufe 4). Der hygroskopische Einfluß von ultrasorp 25 bewirkt eine Oberflächenanlagerung von Wasserdampfmolekülen.

Die so entfeuchtete Druckluft gelangt dann über groß bemessene Trocken-/Reservezonen in den Austrittsdiffusor und von dort in den nachgeschalteten Staubfilter (Stufe 5), der die Luft von Abrieb und anderen Stäuben bis herab zu 1 Mikron befreit.

Das stark hygroskopische Trockenmittel ultrasorp 25 wird kontinuierlich regeneriert. Hierzu wird der Trockenmittelbehälter schlagfertig entspannt, ein geringer Trockenluftteilstrom expandiert und strömt unter atmosphärischen Drücken über ultrasorp 25 und nimmt dabei das angelagerte Wasserkondensat wieder auf.

Wirtschaftliche Technik

Durch gezielt betriebene Forschung und Entwicklung ist in den vergangenen Jahren eine Trocknersystemtechnologie entstanden, die den Marktbedürfnissen der nächsten Jahre gerecht wird.

- Kompaktbauweise: Steuerung, Verrohrung, Vorfilter, Trockner, Nachfilter in einem nach modernsten Gesichtspunkten ausgewählten Gerätedesign.

- Abgestufte Baureihe: Unter Ausnützung der vom Computer unterstützten Konstruktionen ist eine optimal abgestufte Baureihe entstanden - für jede Leistung das richtige Gerät.

- Fremdenergiefrei: Installationskosten entfallen, da die Hochleistungstrockner ultrapac durch im Kompressor selbst erzeugte Energie angetrieben werden.

- Minimierte Betriebskosten: Die -20 Grad-Technologie spart gegenüber herkömmlichen Adsorptionstrocknern mehr als 15 % Energiekosten.

- Geringer Anschaffungskosten: Die -20 Grad Technologie in Kompakt- und Komplettbauweise erhält der Verbraucher nahezu zum Marktpreis der Kältetrockner (+5 Grad-Technologie).

Regenerationsverfahren mit extern erhitzter Gebläseluft

Gleichzeitig zur "Adsorptionsphase" erfolgt im zweiten Trockenmittelbehälter die "Regenerationsphase":

Zur Regeneration wird Umgebungsluft mit einem Gebläse angesaugt. Die angesaugte Luft wird im Erhitzer auf die erforderliche Temperatur erwärmt. Im Gegenstrom zur Adsorption wird die erwärmte Umgebungsluft von oben nach unten durch den zu regenerierenden Trockenmittelbehälter geleitet. Dabei wird die adsorbierte Feuchtigkeit verdampft und über das untere Vierwegeventil und das nachgeschaltete Austrittsventil in die Atmosphäre geleitet. Nachdem die Regenerationstemperatur erreicht wurde, beendet das Thermostat die "Regenerationsphase". Im Anschluß erfolgt die "Kühlphase":

Mit dem Nachlauf des Gebläses für ca. 10 Minuten beginnt die erste Phase der Kühlung. Um eine Wiederbeladung des Trockenmittels durch feuchte Umgebungsluft zu verhindern, ist die Nachlaufzeit begrenzt.

Die zweite Phase der Kühlung erfolgt durch einen kleinen Teilstrom bereits getrockneter Druckluft. Hierdurch werden, nach der Umschaltung, Taupunkt- und Temperaturspitzen verhindert.

Wirtschaftlichkeit

ultrafilter extern warmregenerierte Aufbereitungsanlagen HRE-SGD, MSD sind für eine effiziente und vor allem betriebskostengünstige Drucklufttrocknung speziell für größere Volumenströme ausgelegt und so konzipiert, daß sie mit einem Spülluftbedarf von 1% auskommen. Durch Isolierung der Heizregister und -zuleitungen sind Wärmeverluste weitgehend ausgeschaltet. - Funktionssicherheit. Die Zwangsumschaltung erfolgt durch wartungsfreie Vierwege-Ventile mit pneumatischem Stellenantrieb und wärmebeständigem Dichtungsmaterial, gewährleisten einen kontinuierlich funktionellen, industriellen Einsatz.