

# Druckluft und Wachstum von Mikroorganismen

*Tony Beeckmans*

*Segment Mgr. Lebensmittel und Getränkeindustrie – Pharmaindustrie*

---

In der Regel können Kunden von Druckluftanwendungen, gerade bei kritischeren Anwendungen, gut beurteilen, welche Qualität und Reinheit Versorgungsgüter wie Druckluft haben sollten.

Es ist also in ihrer Verantwortung, Anbietern von Druckluftanlagen die richtigen Spezifikationen zur Verfügung zu stellen. Der Anbieter ist wiederum verpflichtet, Anlagen mit der benötigten Reinheit bereitzustellen.

Für Anwendungen, bei denen Hygiene kritisch ist, z. B. in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, wird sehr häufig ein Drucktaupunkt (DTP) von -40 °C angegeben.

Man sollte bedenken, dass der Energiebedarf zum Erreichen niedriger Taupunkte in einer Druckluftanlage einen wesentlichen Teil der Gesamtenergiekosten ausmachen kann. Grundsätzlich gilt: Je niedriger der erforderliche Taupunkt, desto höher der Energiebedarf.

Zur Energieeinsparung in Anlagen wurde untersucht, warum für Anwendungen mit hohen Hygieneanforderungen sehr oft ein PDP von -40 °C angegeben wird, auch als Klasse 2 gemäß ISO 8573-1 bezeichnet. Lebensmittelhersteller beispielsweise nutzen Druckluft sowohl für direkten als auch für indirekten Kontakt.

Druckluft mit direktem Kontakt ist Teil des Produkts bzw. des Produktionsprozesses, unter anderem für Verpackung und Transport bei der Herstellung sicherer Lebensmittel. Druckluft ohne direkten Kontakt kommt nicht direkt mit den Lebensmittelprodukten in Berührung. Allerdings kann sie in die Atmosphäre gelangen, die die Lebensmittelzubereitung, -verarbeitung oder -lagerung umgibt. Der Unterschied ist nicht immer offensichtlich.

In Anwendungen in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie mit hohen Hygieneanforderungen wird versucht, das Risiko von Mikroorganismenwachstum im Endprodukt zu mindern und so auch potenzielle Kontaminationsquellen in Versorgungsgütern wie Druckluft zu eliminieren. Lebensmittelhersteller legen heutzutage zurecht großen Wert auf Lebensmittelsicherheit

## **Theorie des Wachstums von Mikroorganismen und praktische Anwendung von Druckluft**

In der Literatur werden die Mechanismen des Mikroorganismus- und Pilzwachstums so beschrieben:

*„Für das Wachstum von Mikroorganismen gibt es Voraussetzungen, die die Reproduktion von Organismen ermöglichen. Alle Mikroorganismen brauchen die folgenden Bedingungen, um lebensfähig zu bleiben und auf Nährmedien zu wachsen:*

- 1) *Nährstoffe*
- 2) *Den richtigen pH-Wert*
- 3) *Geeignete Temperatur*
- 4) *Gase*
- 5) *Feuchtigkeit*

1) 2) 4) sind prinzipiell nicht vom Luftverdichtungsprozess betroffen, sofern ein ölfrei verdichtender Kompressor mit Nachkühler verwendet wird.

3) und 5) können mit der Verdichtung atmosphärischer Luft zusammenhängen oder durch diese beeinflusst werden.

### **3) Geeignete Temperatur**

Mesophile Bakterien und Pilze wachsen bei Temperaturen zwischen 25 °C und 40 °C. Thermophile, d. h.

wärmeliebende, Mikroorganismen wachsen bei Temperaturen über 45 °C bis zu ca. 90 °C. Hitze ist tödlich für Mikroorganismen, allerdings hat jede Spezies ihre eigene Wärmetoleranz. Während eines thermischen Zerstörungsprozesses, z. B. der Pasteurisierung, ist die Zerstörungsrate logarithmisch, ebenso wie die Wachstumsrate. Bakterien, die Wärme ausgesetzt sind, werden also mit einer Rate getötet, die proportional zur Anzahl der vorhandenen Organismen ist. Der Prozess hängt sowohl von der Temperatur als auch der Zeit ab, die bei dieser Temperatur erforderlich ist, um die gewünschte Zerstörungsrate zu erreichen. Die Temperatur in ölfreien Kompressorelementen (über 180 °C) ist hoch genug, um die Anzahl der darin vorhandenen Mikroorganismen deutlich zu reduzieren. Die Erhitzung der Luft in den Kompressorteilen ist allerdings zu kurz, als dass der Prozess als Sterilisation gelten kann.

Eine niedrigere Temperatur, insbesondere unter 18 °C, verringert die Wachstumsaktivität ebenfalls. Die Aktivität von Mikroorganismen kommt um den Gefrierpunkt von Wasser fast ganz zum Stillstand. Aus Studien ging hervor, dass das Wachstum von Mikroorganismen (Pilzen und Bakterien) auch als vollständig angehalten betrachtet werden kann, wenn die Temperatur unter -10 °C bis -18 °C (organismenabhängig) liegt. (Ref 1)

### 5) Feuchtigkeit

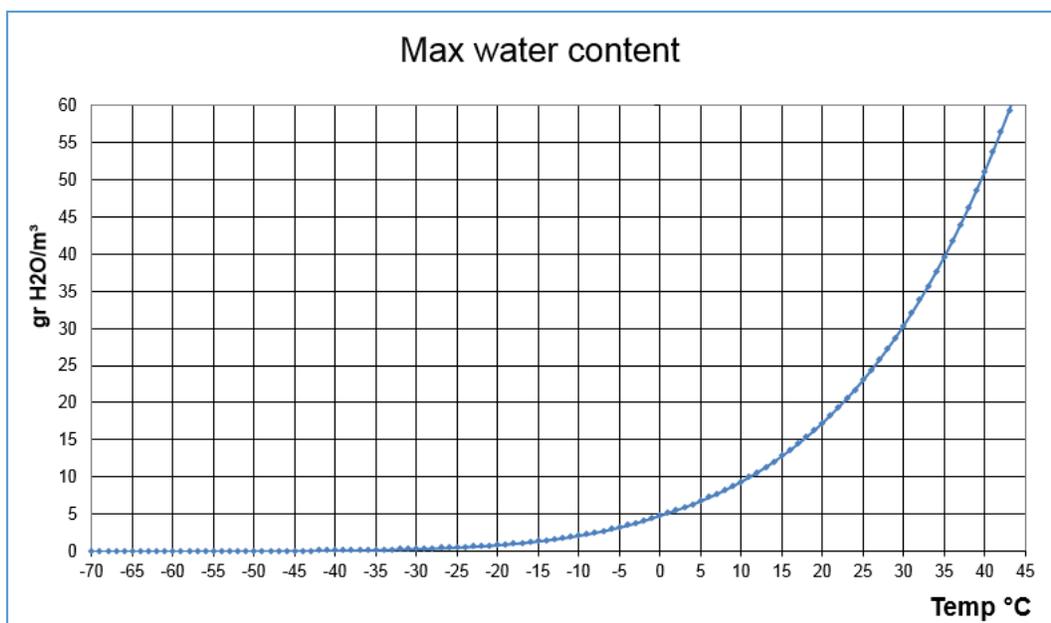
Es hängt von der spezifischen Art von Pilzen oder Bakterien ab, wie viel Wasser (Dampf) sie für Reproduktion oder Wachstum benötigen; jedoch ist Wasser in irgendeiner Form bei allen für die Reproduktion nötig. Die Mehrheit benötigt eine relative Feuchtigkeit von mindestens 75 %. Einige können überleben und sich vermehren, solange die relative Feuchtigkeit über 50 % liegt. Bei niedrigeren relativen Feuchtigkeiten, bzw. bei  $a_w < 0.5$  (Ref 2 Wasseraktivität) findet normalerweise keine mikrobielle Fortpflanzung statt.

Mit anderen Worten: Durch Senkung der Temperatur und des Wassergehalts bzw. der relativen Feuchtigkeit wird die Möglichkeit einer geeigneten Umgebung von Mikroorganismen reduziert.

### Definition von Taupunkt

Der Taupunkt ist die Temperatur, bei der eine bestimmte Konzentration von Wasserdampf in der Luft Tau bildet. Anders ausgedrückt: die Temperatur, auf die die Luft gekühlt werden muss, um einen gesättigten Zustand zu erreichen. Er ist ein Maß für die Feuchtigkeit in der Luft.

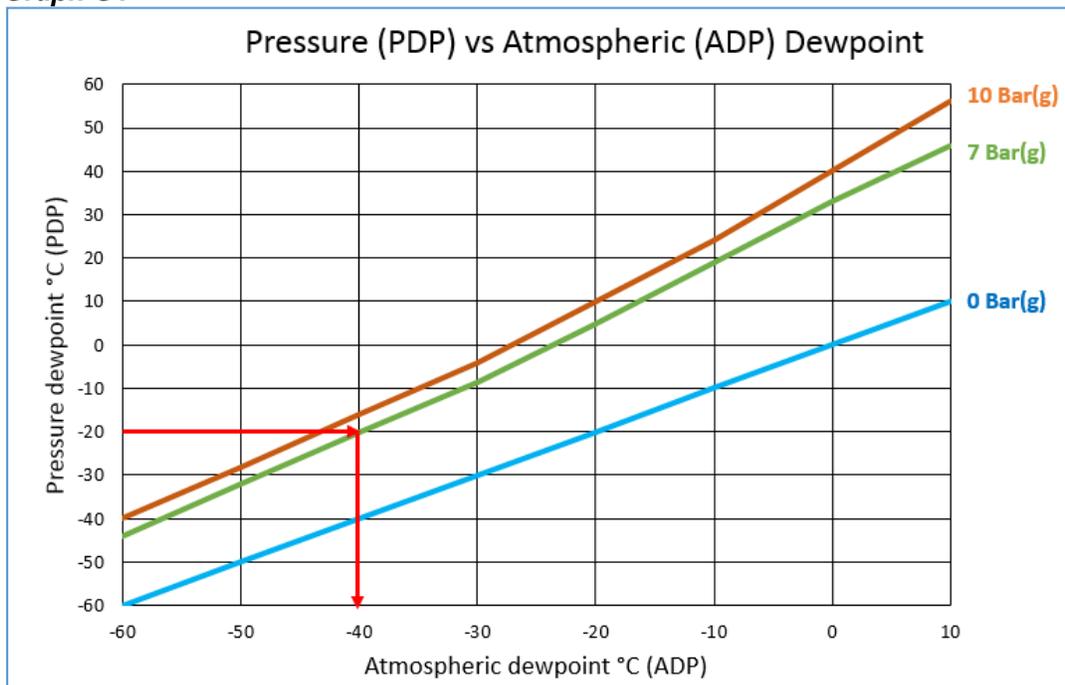
Ein Taupunkt wird als Temperatur auf der °C-Skala ausgedrückt, kann aber auch als maximaler Wassergehalt in g eines Standardluftvolumens bei dieser gegebenen Temperatur betrachtet werden. Der Unterschied zwischen -40 °C und -20 °C mag zwar auf der Temperaturskala signifikant aussehen, der Unterschied zwischen den Wassermengen in g ist jedoch gering.



Dabei ist zu beachten, dass bei Angaben zu Druckluft sehr oft der DTP (Drucktaupunkt) angegeben wird. Dieser gibt den maximalen Wassergehalt in der Druckluft an, wenn sie unter Druck ist. Wenn die Luft nach der Ausdehnung in Kontakt mit dem Produkt kommt, was meistens der Fall ist, ist der Taupunkt bzw. der Wassergehalt erheblich geringer.

Die vorhandene Luftfeuchtigkeit wird um einen Faktor reduziert:  $P(\text{absolut})/P(\text{Atmosphäre})$ . (Siehe Graph G1) In diesem Fall ist der ATP (Atmosphärische Taupunkt) relevanter.

**Graph G1**



Beispiel: DTP -20 °C bei 7 bar(g) entspricht ATP -41 °C

## Taupunkt und Verhältnis zur relativen Feuchtigkeit

2 Beispielsituationen

1) Umgebungstemperatur +20 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 %.

Die Ansaugluft aus der Atmosphäre hat einen Wassergehalt von 12 g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>.

Der Leitungsdruck nach der Verdichtung und Trocknung beträgt 7 bar(g) mit einem DTP von -20 °C bei Umgebungstemperatur.

In diesem Fall beträgt die relative Luftfeuchtigkeit der Druckluft in der Rohrleitung 5,1 % und der Wassergehalt 0,9 g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>. Nach der Ausdehnung beträgt die relative Luftfeuchtigkeit (der ATP) bestenfalls nur 0,64 % mit 0,11 g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>

2) Umgebungstemperatur von -15 °C relative Luftfeuchtigkeit von 85 % und Druckluft mit einem Drucktaupunkt von -30 °C.

Die Ansaugluft aus der Umgebung hat einen Wassergehalt von 1,18 g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>. In der Druckluft beträgt der Wassergehalt nach der Trocknung 0,34 g/m<sup>3</sup> und die relative Luftfeuchtigkeit 24 %.

Da die Umgebungstemperatur weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser liegt, ist kein freies Wasser vorhanden, und die Temperatur ist ebenfalls zu niedrig, um das Wachstum von Organismen zu begünstigen.

Sobald die Umgebungstemperatur ansteigt, können Organismen in einigen Fällen wieder aktiv werden.

Wenn die Temperatur jedoch steigt, sinkt die relative Luftfeuchtigkeit im Druckluftnetz und bleibt weit unter der relativen Feuchtigkeit von unter 40 %, die für eine Organismen begünstigende Umgebung notwendig ist.

### **Energieeffiziente Lösungen für die Drucklufttrocknung**

Für niedrige Taupunktanforderungen können verschiedene Technologien verwendet werden, z. B. kalt regenerierende Adsorptionstrockner in Doppelbehälterbauweise, mit Warmluft regenerierende Trockner, Kompressionswärmetrockner in Doppelbehälterbauweise, Kompressionswärmetrockner mit Drehtrommel, Kältetrockner usw.

Einige Trocknungsgeräte, die auf einen festen und sehr niedrigen Taupunkt ausgelegt sind, können 10 bis 20 % des Stroms des angeschlossenen Kompressors verbrauchen.

Die jährlich für diese Trocknungsgeräte erforderlichen Energiekosten können bis zu 13.000 Euro pro 100 kW Leistung des installierten Kompressors ausmachen.

Eine relative Luftfeuchtigkeit von maximal 10 bis 20 % ist in den meisten Fällen niedrig genug, um eine Atmosphäre zu erzielen, in der das Wachstum und die Vermehrung von Organismen unterbunden wird. Die Verwendung der relativen Feuchtigkeit in der Druckluftspezifikation anstelle des DTP auf der Temperaturskala in Spezifikationen für Druckluft kann zu einer hygienisch sicheren und gleichzeitig energiesparenden Installation beitragen.

### **Zusammenfassung:**

Die Festlegung eines Standards für den Drucktaupunkt sollte mit Bedacht und aus den richtigen Gründen erfolgen.

Die DTP-Klasse 4, 3 oder 2 gemäß ISO 8573 zu nennen ist akzeptabel, die Schritte zwischen +3 °C, -20 °C und -40 °C sind jedoch groß, besonders unter Berücksichtigung des Energiebedarfs für gewisse Taupunkte.

Der tatsächliche Wassergehalt, der entscheidend sein sollte, ist bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt recht stabil.

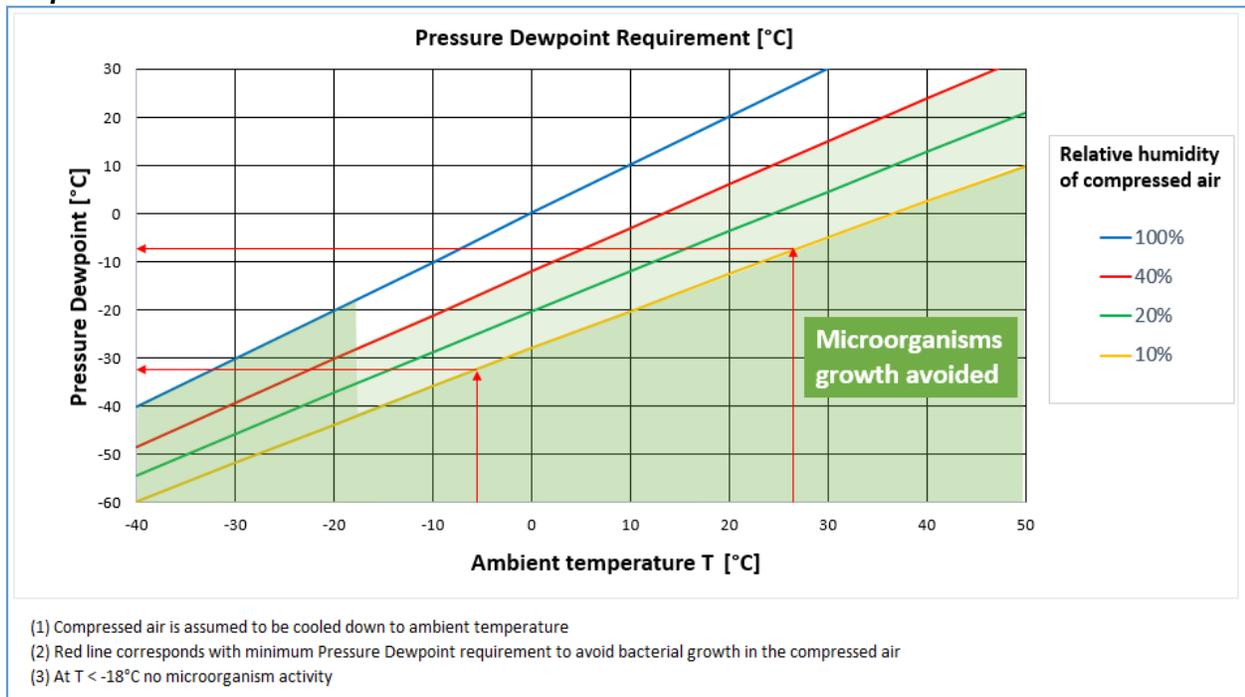
Wenn unter den verfügbaren Trocknungsgeräten die mit dem richtigen Taupunkt gewählt werden, können erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden, ohne die Lebensmittelsicherheit zu gefährden oder Hygienrisiken zu schaffen.

Mikroorganismen benötigen Wasser, um in Lebensmittelprodukten zu wachsen. Die Kontrolle des Feuchtigkeitsgehalts von Lebensmitteln ist eine der am längsten genutzten Strategien zur Konservierung. Lebensmittel-Mikrobiologen beschreiben den Wasserbedarf von Mikroorganismen in der Regel mit Wasseraktivität (aw) der Lebensmittel oder der Umgebung. (Ref 3)

Es ist wichtig, zwischen Bakterien und Schimmelpilzen zu unterscheiden. Für Bakterien geht man im Allgemeinen von einer Mindest-aw von 0,75 (relative Feuchtigkeit 75 %) aus (Staphylococcus aureus). Bei Schimmelpilzen wird eine Mindest-aw von 0,6 (relative Feuchtigkeit 60 %) als sicherer Grenzwert (Xeromyces) betrachtet (Ref. 4).

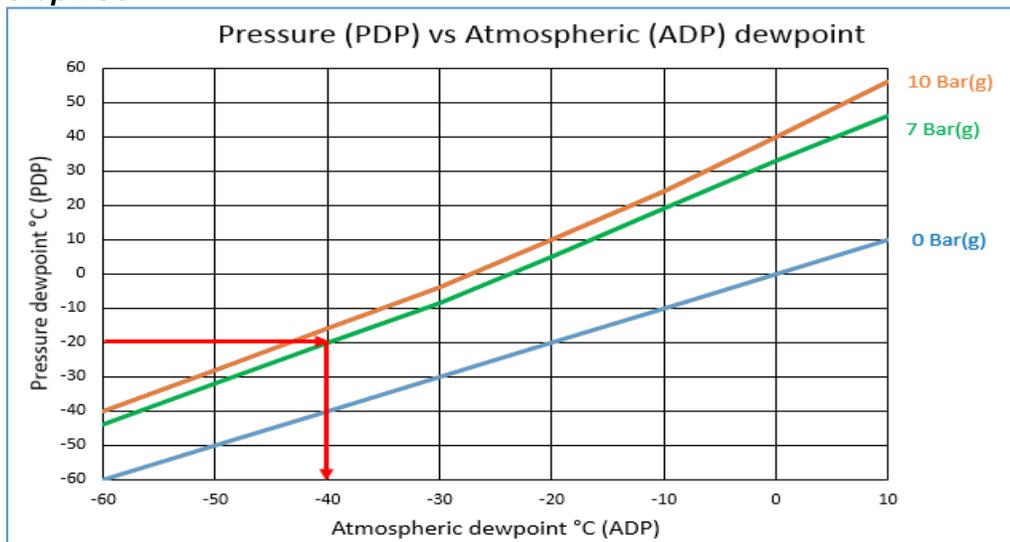
Demnach kann eine Spezifikation von DTP relative Feuchtigkeit  $\leq 10\%$  oder sogar  $\leq 20\%$  als lebensmittelsicher und hygienisch sicher angesehen werden. Basierend auf dem nachstehenden Diagramm (G2) kann der erforderliche Taupunkt berechnet werden, um eine bestimmte aw (relative Feuchtigkeit) in der Druckluft bei einer bestimmten Umgebungstemperatur zu erreichen.

Graph G2



Zur Berechnung des entsprechenden Lufttaupunkts (LTP) aus einem Drucktaupunkt (DTP) oder umgekehrt kann das nachstehende Diagramm (G3) verwendet werden.

Graph G3



#### Referenzen

- 1) *The microbiological safety and quality of food* Barbara M. Lund, A.C. Baird, Grahame W. Gould
- 2) Wasseraktivität oder aw ist der Teildampfdruck von Wasser in einer Substanz, geteilt durch den Teildampfdruck von Wasser im Grundzustand. Im Bereich der Lebensmittelwissenschaft wird der Grundzustand meist als der Teildampfdruck von reinem Wasser bei gleicher Temperatur definiert. Nach dieser speziellen Definition hat reines destilliertes Wasser eine Wasseraktivität von genau eins. Bei steigender Temperatur steigt typischerweise auch die aw, außer bei einigen Produkten mit kristallinem Salz oder Zucker. Substanzen mit höherer aw sind in der Regel für mehr Mikroorganismen geeignet. Bakterien erfordern in der Regel mindestens 0,91 und Pilze mindestens 0,7 Rockland, L.B.; Beuchat, L.R. (1987). *Water Activity: Theory and Applications to Food* (2. Ausgabe). New York: Marcel Dekker.
- 3) *Evaluation and Definition of Potentially Hazardous Foods – Kapitel 3*. FDA <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/094145.htm>
- 4) Prof. Zwietering zur Expertengruppe für medizinische Gase der NEN 2014