

# Kondensate in der Drucklufttechnik – ein übles Gemisch!

Was hat die Drucklufttechnik mit Wasser- und Abwassertechnik zu tun? Auf den ersten Blick nichts, auf den Zweiten sehr viel. Denn die vom Kompressor angesaugte Luft zur Herstellung von Druckluft besitzt je nach Temperatur und Klimazone mehr oder weniger Anteile von Wasserdampf. Durch den Wasserdampf hat feuchte Luft eine geringere Dichte als trockene Luft und dies ist die Grundlage für den Wasserkreislauf der Erde, der für Pflanzen, Tiere und Menschen lebenswichtig ist.

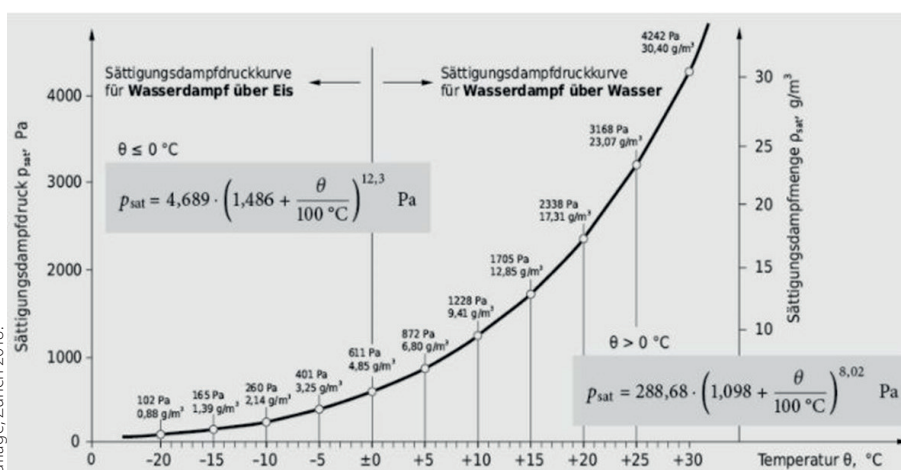
Die Thermodynamik zur Drucklufttechnik erklärt sich mit dem Gesetz nach Dalton, denn die Summe der Partialdrücke des Gasgemisches Luft ergibt den Gesamtdruck. Der Partialdruck zum Wasserdampf in der Umgebungsluft kann mit einigen theoretisch oder experimentell ermittelten Formeln berechnet werden. Alle Berechnungsgleichungen gelten jedoch nur für gewisse Temperaturintervalle und die bekannteste Formel für den Sättigungsdruck für Wasserdampf in Luft ist die Magnus-Näherungsformel. Auch weitere Näherungsformeln erfüllen den Zweck, jedoch eine aus der Norm für Drucklufttrockner (DIN-ISO 7183) entwickelte Wasserdampfsättigungstabelle ist für Berechnungen in der Praxis sehr hilfreich (**Bild 1, Tabelle 1**).

## Wasserdampf in der Drucklufttechnik

Von der grundlegenden Thermodynamik zurück zur Problematik des Wasserdampfes in der Drucklufttechnik. Um einen Kubikmeter Druckluft bei 7,5 bar(ü) zu produzieren, sind 8,5 m<sup>3</sup> Umgebungsluft notwendig. In diesem Beispiel werden Wasserdampf, Partikel, Fremdgase, Pollen, Viren, Bakterien und alle sonstigen Bestandteile der Umgebungsluft vom Kompressor angesaugt und auf das 8,5-fache konzentriert. Analog gilt das Verhältnis für höhere Druckverhältnisse, der Wasserdampfanteil und die Schadstoffkonzentration nehmen zu. Zum Betrieb eines Kompressors ist es technisch vorteilhaft, dass warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann als kalte und bei der Verdichtung von Gasen entsteht überwiegend Wärme. Diese Wärme muss im Sinne der Energetik bei der Druckluftherstel-

lung und zur Kühlung der Mechanik abgeführt werden. Jedoch darf während des Verdichtungsprozesses durch Überschreitung der Sättigungsgrenze für Wasserdampf in der Luft kein Wasser in das Standardkühlmedium Öl ausfallen. Um dies zu verhindern, ist das System entsprechend konzipiert und bei der Standardtechnologie der öleingespritzten Kompressoren sorgt ein interner temperatur geregelter Ölkreislauf dafür, dass die entstehende Verdichtungswärme bis zu einer Grenztemperatur von ca. 85 °C abgeführt wird. Die Grenztemperatur ist nicht willkürlich gewählt, nach Wasserdampfsättigungstabelle kann heiße Luft bei dieser Temperatur 353,5 g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen. Somit ist sichergestellt, würde der Kompressor bei 10 bar(ü) Druck betrieben, könnte die verdichtete Luft auch die 11-fache Menge an Wasserdampf aus einer feuchten und warmen Ansaugluft sicher aufnehmen. Die Verwendung von 85 °C heißer Druckluft ist im Betrieb jedoch meistens nicht möglich. Bevor die Druckluft das Druckluftnetz füllt, wird sie daher auf etwa 10 °C über Umgebungstemperatur durch ein im Kompressor verbautes Kühlsystem abgekühlt. Die abkühlende mit Wasserdampf gesättigte Druckluft kann nur die gleiche Menge Wasserdampf aufnehmen, wie ein gleiches Volumen unverdichtete Luft bei gleicher Temperatur. Die Temperatur und volumenabhängige Speicherung von Wasserdampf in Luft bewirkt, dass auch verdichtete Luft die zu hohe Menge an Wasserdampf nicht mehr tragen kann. Die Kondensation tritt ein und am Druckluftausgangsstutzen des Kompressors fällt der überschüssige Teil an flüssigem Wasser aus.

Danach muss die Druckluft nochmals nach dem Kondensationsprinzip mit einem sogenannten Kältetrockner auf +3 °C oder in seltenen Fällen beispielsweise auch bis auf -40 °C in Adsorptionstrocknern getrocknet werden. Anschließend wird zur Senkung der relativen Feuchte die Druckluft im speziellen Luft-Luft-Wärmetauscher des Kältetrockners erwärmt, bevor das Druckluftnetz befüllt wird, denn auch feucht-gesättigte Druckluft kann zu meist im Betrieb nicht verwendet werden. Das nach der Verdichtung und Standardtrocknung auf +3 °C Drucktaupunkt anfallende flüssige Gemisch besteht bei öleingespritzten Systemen



**Bild 1:** Wasserdampf in der Luft

Quelle: Zürcher, C.; Frank, T. u.a.: Bauphysik, 5. Überarbeitete Auflage, Zürich 2018.

**Tabelle 1:** Auszug: Wasserdampfsättigungstabelle nach Berechnungsgrundlage zur Norm DIN ISO 7183 für Drucklufttrockner

Taupunkt °C	Wassergehalt g/m <sup>3</sup>	Taupunkt °C	Wassergehalt g/m <sup>3</sup>	Taupunkt °C	Wassergehalt g/m <sup>3</sup>	Taupunkt °C	Wassergehalt g/m <sup>3</sup>
100	597,5	75	241,9	50	83,08	25	23,07
99	577,8	74	232,6	49	79,28	24	21,80
98	558,7	73	223,6	48	75,63	23	20,59
97	540,1	72	214,4	47	72,12	22	19,44
96	522,0	71	206,4	46	68,75	21	18,35
95	504,3	70	198,2	45	65,52	20	17,31
94	487,2	69	190,3	44	62,41	19	16,32
93	470,6	68	182,7	43	59,43	18	15,38
92	454,4	67	175,3	42	56,57	17	14,49
91	438,7	66	168,2	41	53,83	16	13,64
90	423,4	65	161,3	40	51,21	15	12,84
89	408,6	64	154,7	39	48,64	14	12,08
88	394,2	63	148,2	38	46,28	13	11,35
87	380,2	62	142,0	37	43,97	12	10,67
86	366,7	61	136,1	36	41,76	11	10,02
85	353,5	60	130,3	35	39,65	10	9,405
84	340,7	59	124,8	34	37,63	9	8,824
83	328,3	58	119,4	33	35,70	8	8,275
82	316,3	57	114,2	32	33,85	7	7,756
81	304,7	56	109,3	31	32,08	6	7,265
80	293,4	55	104,5	30	30,40	5	6,802
79	282,4	54	99,85	29	28,79	4	6,364
78	271,8	53	95,41	28	27,26	3	5,952
77	261,5	52	91,14	27	25,79	2	5,563
76	251,6	51	87,03	26	24,40	1	5,196

aus Wasser, Partikeln und Öl (**Bild 2**). Das Gemisch wird Kondensat genannt und muss aus dem Druckluftsystem mit druckluftverlustfreien Kondensatableitern entfernt, entsorgt oder aufbereitet werden. Obwohl Kondensat überwiegend aus Wasser besteht, bewirken die aus dem Druckluftsystem austretenden Restölmengen des Kompressors, dass eine Entsorgung oder Aufbereitung nach Wasserhaushaltsgesetz und weiteren Landes- sowie Kommunalvorgaben notwendig ist. Öleingespritzte Schraubenkompressoren verfügen im Standard über ein Ölabscheidesystem, was einen Restölanteil der Druckluft von 3-5 mg/m<sup>3</sup> garantiert.[1] Für einen mittleren Druckluftverbrauch von 540 m<sup>3</sup>/h, ergibt sich bei einem Ölaustrag von 4 mg/m<sup>3</sup> über das Jahr mit 8.760 Stunden ein Austrag von ca. 23 l Öl, was sich durch Kondensat- und Filtrationstechnik überwiegend im Kondensat wieder findet. Dieser Ölaustrag aus der Druckluftherzeugung in die Kondensattechnik kann sich bei ungünstigen Abscheidebedingungen deutlich erhöhen und je nach Ölsorte im Kompressor sowie zugesetzten Additive sehr verschiedenartig sein.

### Berechnung der Kondensatmenge

Die Berechnung der Kondensatmenge erfolgt über die bereits erwähnte Wasserdampfsättigungstabelle, mit Ansaugvolumenstrom und dessen Temperatur, Druckverhältnissen, relativer Ansaugluftfeuchte und dem gewünschten Drucktaupunkt der

Druckluft. Folgende Gleichung wird von der Flex-Air GmbH, Industrie und Drucklufttechnik, zur Berechnung der Kondensatmenge angewandt:

$$m_k = \dot{v}_0 \left( \frac{\varphi}{100} m''_{(tp)} - \frac{p_{atm.}}{p_{abs.}} m''_{(dtp)} \right)$$

- $m_k$  = Kondensatmenge (g/min)
- $p_{atm.}$  = Umgebungsdruck ≈ 1 bar
- $p_{abs.}$  = absoluter Verdichtungsenddruck [bar]
- $\varphi$  = relative Feuchte der Ansaugluft [%]
- $\dot{v}_0$  = Ansaugvolumenstrom des Kompressors [m<sup>3</sup>/min] (Typenschildangabe)

Aus der Wasserdampfsättigungstabelle:

- $m''_{(tp)}$  = max. Wassergehalt der Ansaugluft bei Ansaugtemperatur (Taupunkt) [g/m<sup>3</sup>]
- $m''_{(dtp)}$  = max. Wassergehalt der Druckluft zur Drucklufttemperatur (Drucktaupunkt) [g/m<sup>3</sup>]

Richtwerte Drucklufttemperaturen: Druckluftstutzen Kompressor ca. 10 °C höher als Umgebungstemperatur / Kältetrockner ca. +3 °C

Eine mittlere Kompressorstation mit dem beispielhaft durchschnittlichen Ansaugvolumenstrom von 540 m<sup>3</sup>/h und einer auf +3 °C getrocknete Druckluft produziert bei einem Netzdruck von 7,5 bar(ü) (8,5 bar(abs.)) im Sommer bei einer Ansaugtemperatur von 30 °C, 50 % Ansaugfeuchte und 1 bar An-



**Bild 2:** Kondensat besteht bei öleingespritzten Systemen aus Wasser, Partikeln und Öl

saugdruck in der Stunde 7,83 l Kondensat. Im Winter, bei einer Ansaugtemperatur von +5 °C und ansonsten gleichen Bedingungen nur 1,46 l/h. Wird über eine gemittelte Jahrestemperatur in Deutschland von 10,4 °C [2] und einer gemittelten Feuchte von 75 % gerechnet, ergibt sich für diese Druckluftstation eine Kondensatmenge von 30.917 l/a. Für diese Menge sind schon Einzelentsorgungsnachweise für Abwasser notwendig und die Kosten können mit 15.000 €/a und mehr explodieren. Werden die Druckluftstationen größer, die Sommer heißer und feuchter, steigen die Mengen an Kondensat immens an. Als Richtwert kann bei moderaten Verdichtungsdrücken und in gemäßigten Klimazonen mit einem Kondensatanfall von 0,05 l/kWh gerechnet werden. In der EU werden 10 % des gesamten industriellen Stromverbrauchs, ca. 80 TWh/a und 17,5 % davon in Deutschland (ca. 14 TWh/a) für die Erzeugung von Druckluft verbraucht. [3] Ausgehend von dieser älteren Datenlage aus dem Jahr 2003 ergeben sich allein für Deutschland 0,7 Mio. m<sup>3</sup> Kondensat, dies entspricht dem Fassungsvermögen einer kleinen Talsperre – für die EU wird der Stausee schon deutlich größer.

In einfachen Fällen wird das Kondensat per vom Deutschen Institut für Bautechnik zugelassenen Öl-Wasser-Trennern (**Bild 3**) aufbereitet und in die öffentliche Kanalisation eingeleitet. Der Aufbau der häufig genutzten kleinen Öl-Abscheideanlagen ist einfach, denn es wirkt die Schwerkraftabscheidung. Jedoch ist die Anforderung zur Trennung verschiedenartiger Kondensate je nach Druckluftstation und Jahreszeit nicht unerheblich. Neue Kondensattrenner bieten unterschiedliche Filtereinsätze, die sogar emulgierte Kondensate aufnehmen und demulgieren. Deutlich seltener im Einsatz und quasi als letzter Ausweg vor der kostenintensiven Entsorgung sind für besonders schwer trennbare Kondensate Emulsionsspaltanlagen und Membrananlagen konzipiert worden. Das Ziel aller Systeme ist das gleiche: teure Entsorgungskosten sparen und das Kondensat je nach Rechtslage von Bund, Länder und Kommunen auf aktuell mindestens 20 mg/l Restölgehalt aufzubereiten, sodass eine indirekte Einleitung durch die untere Wasserbehörde ins öffentliche Abwasser-Netz gestattet wird. Die leider entstehenden flüssigen Restölmengen und größere Mengen an ölhaltigen Filterabfällen sind allerdings immer separat zu entsorgen. Es sei abschließend bemerkt, dass für die Erzeugung von Druckluft auch ölfrei-, trockenverdichtende Kompressoren im Markt zur Verfügung stehen. Leider sind diese Verdichter energetisch schlechter als öleingespritzte Kompressoren, die Investitionskosten sind hoch und das entstehende Kondensat ist durch einen Mangel an Mineralien oftmals sehr sauer. Ebenfalls gilt nach aktueller Rechtslage ein Verbot der indirekten Einleitung in die Kanalisation für saure Kondensate unterhalb dem pH-Wert von 6,0. Demnach ist auch bei ölfreien Kompressorstationen gegebenenfalls eine Aufbereitung per Neutralisationsanlage notwendig, um nicht gegen Gesetze zu verstoßen und eine teure Entsorgung zu sparen.

Literatur:

- [1] Vgl. Ruppelt, Erwin: Druckluftaufbereitung. In: Ruppelt, Erwin (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. 4. Auflage. Essen: Vulkan 2003, S. 172.
- [2] Deutscher Wetterdienst (DWD): Deutschlandwetter im Jahr 2020; Pressemitteilung.
- [3] Vgl. Radgen, Peter: Druckluftaufbereitung. In: Ruppelt, Erwin (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. 4. Auflage. Essen: Vulkan 2003, S.2.

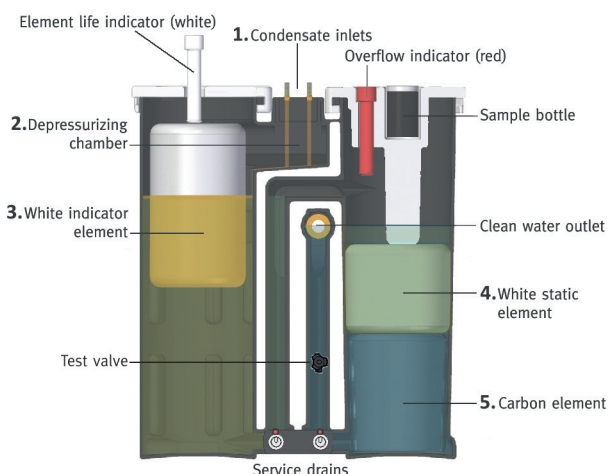
Autor:

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Dirk Gros  
Flex-Air GmbH

[www.flex-air.com](http://www.flex-air.com) oder scannen Sie einfach den QR-Code:



Quelle: Jorc industrial BV



**Bild 3:** Öl-Wasser-Trennsystem