

Fachaufsatz Feuchte-Messtechnik für medizinische Gase

von: Wolfgang Blessing
CS Instruments GmbH



Feuchte-Messtechnik für medizinische Gase

1. Einleitung

Derzeit wird in der Fachpresse das Thema „Druckluftqualität für medizinische Gase“ heftig diskutiert. Auslöser dieser heftigen Diskussion war ein Nachtrag zum Europäischen Arzneimittelbuch.

Mit Ablauf der Übergangsfrist am 01.08.2001 unterliegt die medizinische Druckluft dem Arzneimittelgesetz. Bisher handelte es sich bei der medizinischen Druckluft um komprimierte Umgebungsluft, die sowohl für Beatmungszwecke als auch für den Antrieb der Beatmungsgeräte sowie auch anderer Geräte eingesetzt wurde. Die Anforderungen an diese Druckluft waren in der DIN 13260-1 bzw. DIN EN 737-Teil 3 geregelt.

Hier nun eine Gegenüberstellung der Qualitätsmerkmale nach alter Norm und Arzneimittelbuch.

Bestandteile	DIN 13260-1 bzw. DIN EN 737-Teil 3	Europäisches Arzneimittelbuch
Öl	0,5 mg/m ³	0,1 mg/m ³
H ₂ O	Drucktaupunkt +5 °C (Atm. TP -25 °C)	67ppm (Atm. TP -46 °C)
CO	5ppm (ml/m ³)	5ppm
CO ₂	1000ppm (ml/m ³)	500ppm
Feststoffe	Filterklasse P3 nach EN 143	keine Angabe
SO ₂	keine Angabe	1ppm
NO NO ₂	keine Angabe	2ppm

Wie aus der Gegenüberstellung zu ersehen ist, wurde der Grenzwert für den Taupunkt bzw. Drucktaupunkt drastisch gesenkt.

Wie ist es nun, physikalisch gesehen, zu verstehen wenn in der DIN 13260-1 bzw. DIN EN 737-Teil 3 von +5 °C Drucktaupunkt ausgegangen wird und im Europäischen Arzneimittelbuch von 67 ppm (V/V), bzw. -46 °C Taupunkt atmosphärisch? Dieser Fachaufsatz soll Ihnen Aufschluss darüber geben.

2. Physikalische Grundlagen der Drucklufttechnik.

2.1 Physikalische Einheiten

Maximale Feuchte f_{\max} [g/m³]

→ ist die max. Menge Wasserdampf, die 1m³ Luft bei einer bestimmten Temperatur enthalten kann.

Absolute Feuchte f [g/m³]

→ ist die in 1m³ Luft tatsächlich enthaltene Menge Wasserdampf.

Relative Feuchte ϕ [% rF]

→ ist das Verhältnis der absoluten zur maximalen Feuchte.

Atmosphärischer Taupunkt [°Ctd]

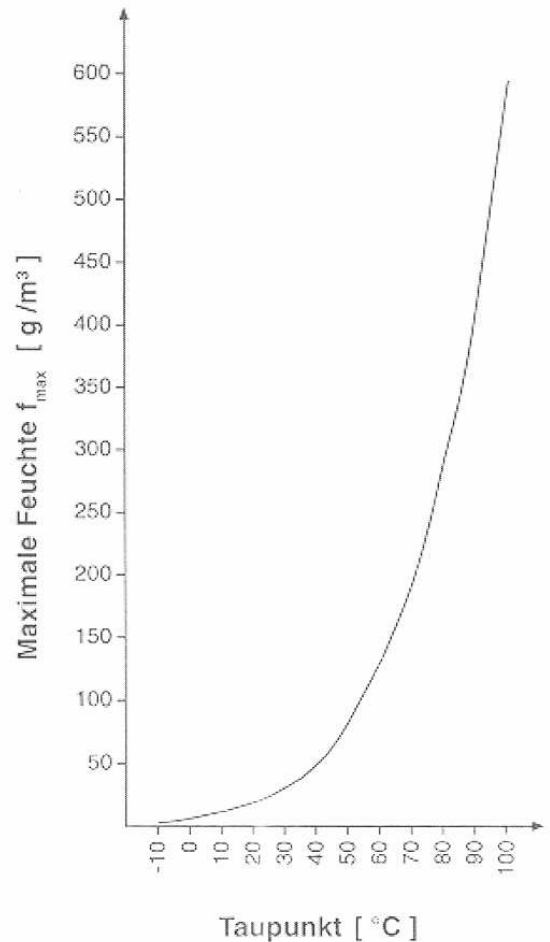
→ ist die Temperatur, auf die **atmosphärische** Luft (1bar_{abs}) abgekühlt werden kann, ohne dass Wasser ausfällt.

Drucktaupunkt [°Ctpd]

→ ist die Temperatur, auf die verdichtete Luft abgekühlt werden kann, ohne dass Kondensat ausfällt. Der Drucktaupunkt ist abhängig vom Verdichtungs-Enddruck. Bei sinkendem Druck sinkt auch der Drucktaupunkt.

ppm (V/V)

→ Die Einheit ppm (V/V) bedeutet „parts per million“. Es ist das Verhältnis der Wasserdampfanteile zu den Anteilen der gesamten feuchten Luft, bezogen auf das Volumen.



2.2 Übersicht der Verhältnisse von Taupunkt, absoluter Feuchte und Wassergehalt

Taupunkt in °C	Absolute Feuchte in g/m ³	Wassergehalt in Vol.-%	Taupunkt in °C	Absolute Feuchte in g/m ³	Wassergehalt in Vol.-%	Taupunkt in °C	Absolute Feuchte in mg/m ³	Wassergehalt in ppm (V/V)	Taupunkt in °C	Absolute Feuchte in mg/m ³	Wassergehalt in ppm (V/V)
100	588,1	100,0	40	51,08	7,29	5,0	6794	8611	-27,1	455	504
90	418,5	69,3	39	48,57	6,91	4,0	6357	8029	-28,1	415,22	458
85	349,9	57,1	38	46,17	6,55	3,0	5945	7481	-29,0	378,98	416
80	290,8	46,8	37	43,87	6,20	2,0	5557	6967	-29,9	345,61	378
75	240,1	38,1	36	41,67	5,87	1,0	5191	6485	-30,8	314,90	343
70	196,9	30,8	35	39,56	5,56	0,0	4846	6032	-31,8	286,66	311
69	189,1	29,5	34	37,55	5,26	-0,9	4522	5608	-32,7	260,73	282
68	181,6	28,2	33	35,62	4,97	-1,8	4216	5210	-33,6	236,93	255
67	174,3	27,0	32	33,78	4,70	-2,6	3930	4838	-34,6	215,10	230
66	167,2	25,8	31	32,02	4,44	-3,5	3660	4489	-35,5	195,10	208
65	160,4	24,7	30	30,34	4,19	-4,4	3407	4163	-36,5	176,79	188
64	153,8	23,6	29	28,74	3,96	-5,3	3169	3858	-37,4	160,05	169
63	147,4	22,6	28	27,21	3,73	-6,2	2946	3573	-38,3	144,76	152
62	141,3	21,6	27	25,75	3,52	-7,1	2737	3307	-39,3	130,79	137
61	135,4	20,6	26	24,35	3,32	-8,0	2541	3059	-40,2	118,06	123
60	129,7	19,7	25	23,03	3,13	-8,9	2358	2828	-41,2	106,46	111
59	124,2	18,8	24	21,76	2,95	-9,8	2187	2612	-42,1	95,90	99,3
58	118,8	17,9	23	20,56	2,77	-10,7	2026	2411	-43,1	86,30	88,9
57	113,7	17,1	22	19,41	2,61	-11,6	1876	2224	-44,0	77,58	79,6
56	108,8	16,3	21	18,32	2,46	-12,5	1736	2050	-45,0	69,66	71,2
55	104,0	15,6	20	17,28	2,31	-13,4	1606	1889	-45,9	62,49	63,5
54	99,5	14,8	19	16,30	2,17	-14,3	1484	1739	-46,9	55,99	56,7
53	95,0	14,1	18	15,36	2,04	-15,2	1370	1599	-47,8	50,12	50,5
52	90,8	13,5	17	14,47	1,91	-16,1	1264	1470	-48,8	44,81	45,0
51	86,7	12,8	16	13,62	1,79	-17,0	1166	1350	-49,8	40,01	40,0
50	82,8	12,2	15	12,82	1,68	-17,9	1074	1239	-50,7	35,69	35,5
49	79,0	11,6	14	12,06	1,58	-18,8	989	1137	-55,5	19,80	19,2
48	75,4	11,0	13	11,34	1,48	-19,8	910	1042	-60,4	10,64	10,1
47	71,9	10,5	12	10,65	1,38	-20,7	837	954	-65,3	5,53	5,12
46	68,5	10,0	11	10,01	1,30	-21,6	769	873	-70,2	2,77	2,50
45	65,3	9,47	10	9,39	1,21	-22,5	706	798	-75,1	1,33	1,17
44	62,2	8,99	9	8,81	1,13	-23,4	647	729	-80,1	0,62	0,53
43	59,3	8,54	8	8,26	1,06	-24,3	593	666	-85,2	0,27	0,23
42	56,4	8,10	7	7,75	0,989	-25,3	543	607	-90,2	0,11	0,09
41	53,7	7,69	6	7,26	0,923	-26,2	497	553	-95,2	0,05	0,04
40	51,1	7,29	5	6,79	0,861	-27,1	455	504			

Tab.1: Verhältniszahlen

Berechnung nach Wexler, IST 90, Berechnung Wassergehalt Vol.-% und ppm (V/V) auf Basis 1013 mbar und 25 °C.

2.3 Umrechnung von atmosphärischem Taupunkt in Drucktaupunkt bei verschiedenen Drücken.

Im neuen Arzneimittelgesetz wird ein Wassergehalt von 67 ppm (V/V) atmosphärisch vorgeschrieben. Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, entspricht dies einem atmosphärischen Taupunkt von -46 °C.

Da bei der Entspannung der Taupunkt sinkt, entspricht dieser Grenzwert (-46 °C Taupunkt atmosphärisch) bei z.B. 12 bar einem Drucktaupunkt von -21 °Ctpd. Die Tabelle zeigt, welcher Drucktaupunkt bei welchem Druck erforderlich ist, um -46 °Ctd atmosphärisch zu erzielen.

Leitungsdruck in bar	Drucktaupunkt bei Leitungsdruck in °Ctpd	atmosphärischer Taupunkt in °Ctpd	ppm (V/V)*
12	-21	-46	67
11	-22	-46	67
10	-23	-46	67
9	-24	-46	67
8	-25	-46	67
7	-27	-46	67
6	-29	-46	67
5	-31	-46	67
4	-33	-46	67
3	-35	-46	67
2	-39	-46	67

Tab.2

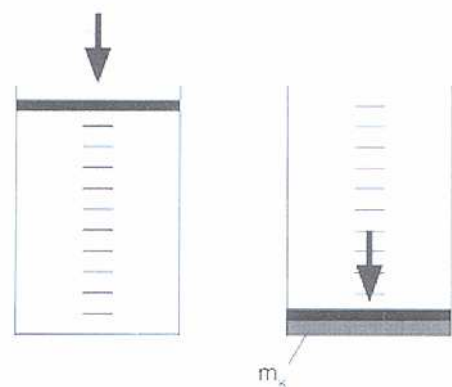
* bezogen auf 1013 mbar und 25 °C

3. Wie gelangt Wasser in die Druckluft?

Luft hat die Fähigkeit, Wasserdampf zu binden. Je höher die Temperatur, desto mehr Dampf kann die Luft binden und umgekehrt. Je größer das Luftvolumen ist, um so größer ist die Dampfmenge, die die Luft mit sich führen kann und umgekehrt. Daraus folgt, dass diese Fähigkeit Wasserdampf zu binden bei verdichteter Luft geringer ist.

3.1 Beispiel:

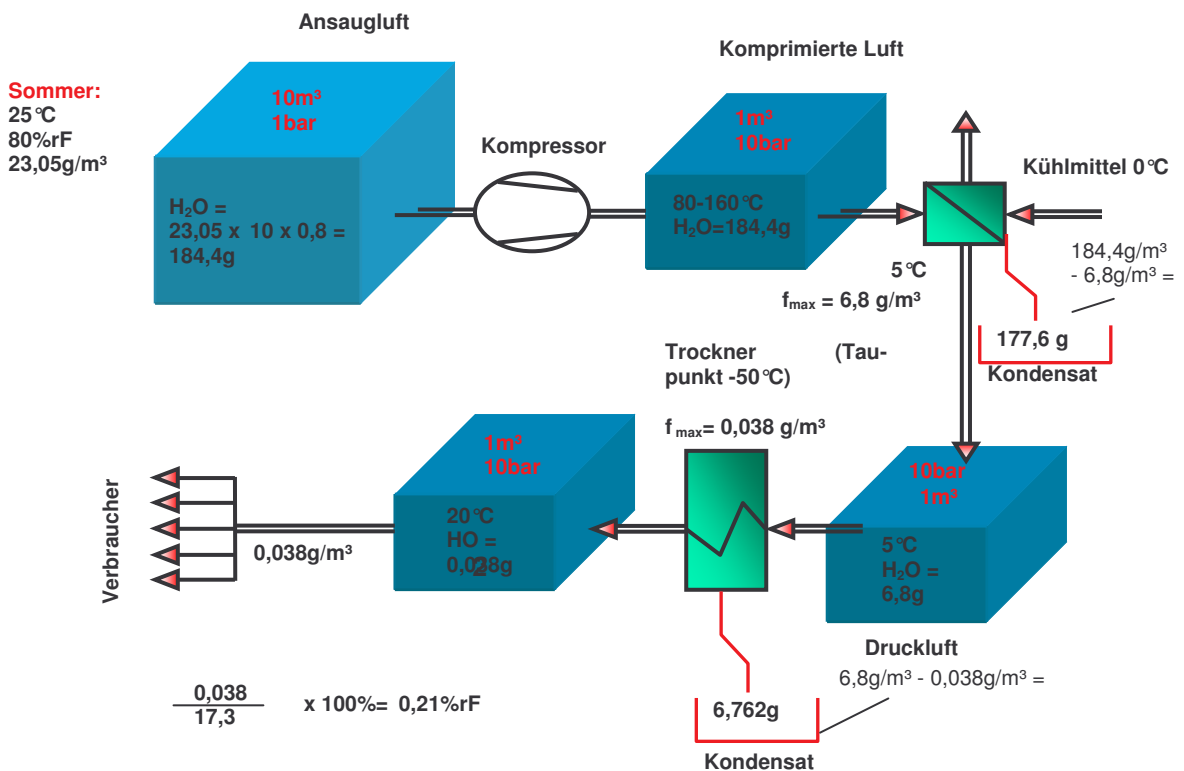
Ein Kompressor mit einem Betriebsdruck von 7 bar verdichtet Umgebungsluft auf $\frac{1}{8}$ ihres Volumens: d. h. die Fähigkeit der Luft, Wasser zu binden, vermindert sich auf $\frac{1}{8}$. An einem bestimmten Punkt des Verdichtungsprozesses übersteigt der Wassergehalt der Luft die verminderte Fähigkeit der Luft, Wasser zu binden. Die Luft wird gesättigt und ein Teil des Wasserdampfes kondensiert, d.h. er schlägt sich als Flüssigkeit nieder. Da aus der komprimierten Luft nur das Wasser ausfällt das nicht gespeichert werden kann, steigt die relative Luftfeuchtigkeit ϕ der verdichteten Luft immer auf 100%. Durch Absenken der Temperatur kondensiert noch mehr Wasserdampf.



Im Folgenden soll an einem einfachen Beispiel erläutert werden, wie eine Druckluftanlage speziell im Sommer arbeitet. In den Sommermonaten sind speziell die heißen und feuchten Tage kritisch für eine funktionierende Drucklufttrocknung, dies wird durch das Beispiel eindeutig bestätigt.

3.2 Praxisbeispiel zu einer Druckluftanlage mit Kältetrockner und Adsorptionstrockner

An einem heißen Sommertag mit 25 °C und 80 % Luftfeuchte, kann die Luft maximal 23,05 g/m³ speichern. 10 m³ Ansaugluft wird auf 1 m³ komprimiert. Der Druck steigt von 1 bar auf 10 bar. Die in 1 m³ enthaltene Luft beträgt 184,4 g. Durch das Komprimieren wird je nach Kompressorart eine Temperatur zwischen 80 °C und 160 °C erreicht. Bei dieser Temperatur fällt kein Wasser aus, da die Luft bei dieser Temperatur in der Lage ist, sämtliches Wasser zu speichern. Der Drucktaupunkt beträgt 70 °C_{tpd}. Wenn nun die Feuchte mit einem Drucktaupunkt von 70 °C ungetrocknet in eine Druckluftanlage strömt, würde eine erhebliche Menge an Wasser kondensieren.



Dem Kompressor ist ein Kältetrockner nachgeschaltet der über ein Kühlmittel die durchströmende Druckluft auf etwa 2 °C – 5 °C herunterkühlt. Beim Herunterkühlen fällt eine Kondensatmenge von 177,6 g Wasser aus. Die Luft mit einem Druck von 10 bar hat einen Drucktaupunkt von 5 °C, was einer absoluten Feuchtigkeitsmenge von 6,8 g/m³ entspricht.

Wie sich bei dem Beispiel sehr gut zeigt, ist der Grenzwert +5 °C_{tpd}, der in der alten Norm gefordert wird sehr leicht mit Kältetrocknern zu erzielen.

Der Grenzwert des Europäischen Arzneimitelbuches von 67 ppm (V/V) (atmosphärisch –46 °C Taupunkt) wird also nur erreicht über eine zusätzliche Trocknungsstufe. Hier bieten sich Adsorptions- bzw. Membrantrockner an, die durch einen Kältetrockner vorgetrocknete Luft weiter heruntertrocknen. Hier ist es möglich, die im neuen Arzneimitelrecht geforderten Taupunkte von –46 °C atmosphärischer Taupunkt bzw. 67 ppm zu erzielen.

4. Filter und Wasserabscheider

Durch die Nachrüstung zusätzlicher Filter, Kältetrockner bzw. Adsorptionstrockner wird versucht, für das neue Gesetz „fit“ zu werden. Es sollte jedoch in jedem Fall sichergestellt sein, dass der geforderte Drucktaupunkt auch tatsächlich erreicht wird. Dies ist nur in Verbindung mit zuverlässiger Meßtechnik und einer Alarmierung im Störfall gewährleistet.

Fälschlicherweise besteht sowohl im Krankenhausbereich, als auch in der Industrie immer der Irrglaube, dass mit zusätzlichen Filtern bzw. Wasserabscheidern eine weitere Trocknung erzielt werden kann. Sowohl zusätzliche Filter als auch Wasserabscheider können immer nur angefallenes Kondensatwasser ableiten. Eine Trocknung der Druckluft wird nicht erzielt.

5. Kältetrockner

Die Kältetrockner werden in den meisten Fällen nur durch eine Anzeige der Abkühltemperatur überwacht. Diese wird aber oft als Drucktaupunkt bezeichnet, was zu einer Fehleinschätzung der Überwachung führt. Auch wenn die Abkühltemperatur in Ordnung ist, führen folgende Fehler zu einem erhöhten Drucktaupunktwert in Druckluftsystemen:

- Kondensat am Kältetrockner wird nicht abgeleitet (Kondensatableiter defekt bzw. verschmutzt).
- Druckluft-Bypass im Kältetrockner / Wärmetauscher verschließen, korrodieren, etc.
- Druckluft-Bypass in Umgebungsluftleitung (Ventil defekt bzw. nicht geschlossen).
- Kondensatüberlastung des Kältetrockners durch mangelnde Kondensatvorabscheidung.

6. Adsorptionstrockner

Die Drucktaupunktüberwachung erfolgt nur bei grösseren Adsorptionstrocknern oder bei speziellen Anwendungen. Bei kleineren Adsorptionstrocknern gibt es keine Anzeige, eventuell ist ein Farbindikator vorhanden. Ein zu hoher Drucktaupunkt führt somit zu keiner Alarmmeldung. Folgende Fehler können bei Adsorptionstrocknern auftreten:

- Adsorptionsmittel verbraucht (normale Standzeit zwischen 3 und 5 Jahre). Durch Überlast, bzw. mangelnde Kondensat- und Ölvorabscheidung kann sich die Standzeit drastisch verkürzen.
- Keine ausreichende Regeneration (Düsen verstopft, Heizkörper defekt, usw.)
- Keine Umschaltung (Steuerelektronik bzw. Ventile defekt).

7. Warum ist eine stationäre Feuchtemessung mit Alarmmeldung so wichtig und notwendig?

In der Praxis muß sichergestellt werden, dass die Qualität medizinischer Gase konstant vorliegt. Wie in Kapitel 4 bis 6 beschrieben, gibt es eine Reihe von Fehlern, die zu Kondensatanfall bzw. Wassereinbruch in der Druckluft führen.

Bei den **Sterilfiltern** ist Kondensatanfall unter allen Umständen zu vermeiden, da diese im Schadensfall ausgewechselt werden müssen. Dies führt zu erheblichen Kosten, da neben dem Filterwechsel auch die ganzen Leitungen getrocknet werden müssen. Diese möglichen Gefahren sind mit einem zuverlässigen Feuchte-Messgerät zu vermeiden.

Wichtig ist eine schnelle Ansprechzeit, um im Schadensfall sehr schnell reagieren zu können.

8. Praktische Tips

Für die Einhaltung der strengen Grenzwerte im Krankenhausbereich ist eine stationäre Messung in der Praxis notwendig, z.B. das Taupunkt-Set FA 410



Technische Daten FA 410

Messbereich:	-80...20 °C _{td} bzw. -20...50 °C _{td}
Genauigkeit:	± 1 °C bei 20...-20 °C _{td} ± 2 °C bei -20...-50 °C _{td} ± 3 °C bei -50...-80 °C _{td}
Druckbereich:	-1...50 bar Sonderversion bis 350 bar
Stromversorgung:	24 VDC (16...30 VDC)
Schutzart:	IP 65
EMV:	nach DIN EN 61326
Einsatztemperatur:	-20...70 °C
Anschluss:	M12, 5-polig
PC-Anschluss:	SDI Schnittstelle
Analogausgang:	4...20 mA = -80...20 °C _{td} bzw. 4...20 mA = -20...50 °C _{td}
Bürde für Analogausgang:	< 500 Ohm
Einschraubgewinde:	G1/2"
Abmessungen:	Ø 30 mm, Länge ca. 130 mm
Über Service-Software:	- Einheiten wählen: % rF, °C _d , g/m ³ , mg/m ³ , ppm VV - Skalierung 4...20 mA ändern
Sonderversion:	4...20 mA, 2-Drahttechnik

Technische Daten DS 300

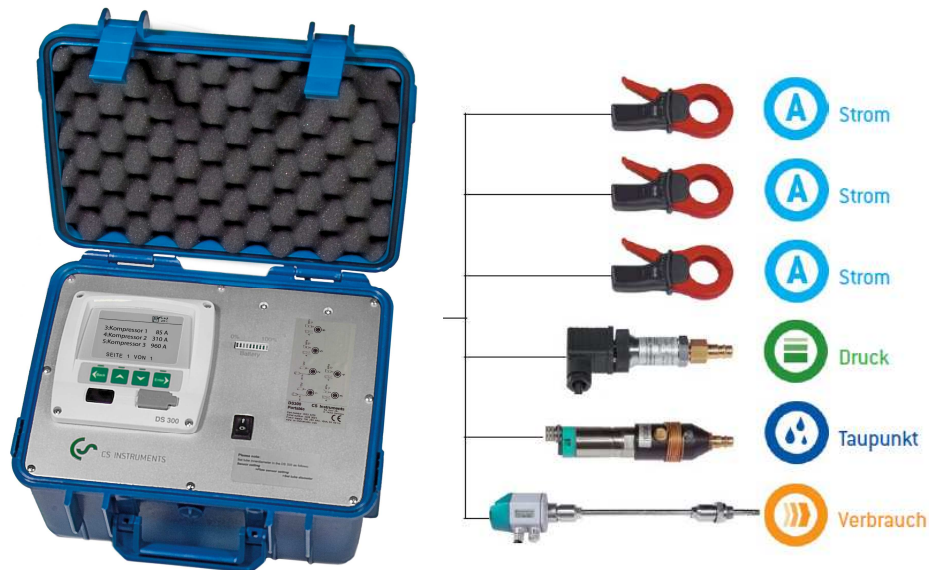
Abmessungen:	118 x 115 x 93 mm, IP 65 (Wandgehäuse) 92 x 92 x 70 mm, IP 65 (Schaltschrankbau)
Eingänge:	2 digitale Eingänge für FA 410 bzw. VA 400
Schnittstelle:	USB
Tastatur:	4 Tasten
Stromversorgung:	100...240 VAC, 50-60 Hz
Genauigkeit:	siehe FA 410 Seite 6
Alarmausgänge:	2 Relais, 230 VAC, 3 A
Betriebstemperatur:	0...50 °C
Transporttemperatur:	-20...70 °C
OPTIONEN	
Datenlogger:	1 Mio. Messwerte Start-/Stopzeit, Messrate frei einstellbar

Besondere Vorteile des FA 410 Taupunkt-Sets:

- Messbereich -80...20 °C_{td}
- Steckerfertiges System: Alles fix und fertig verdrahtet
- Aufwendiges Studieren der Bedienungsanleitung entfällt
- 2 Alarmkontakte (230 VAC, 3 A), Vor- und Hauptalarm frei einstellbar
- 4...20 mA Analogausgang
- Optischer Alarm: Rotes Blinken
- Gleichzeitige Anzeige % rF, °C, °C_{td}

9. Mobile Messung mit dem DS 300

Energieanalyse - Verbrauchsmessung - Leckageberechnung an Druckluftanlagen



Mit dem **Messgerät DS 300 mobil** können Druckluftstationen analysiert werden. Bis zu 4 Stromzangen messen die Stromaufnahme der einzelnen Kompressoren. Wahlweise können auch 4 Drucksensoren, Temperatursensoren oder beliebige Analogsensoren angeschlossen werden.

Zusätzlich misst das DS 300 gleichzeitig die tatsächlich erzeugte Druckluftmenge in m³/h, m³ und die Taupunkttemperatur in °Ctd.

Der **integrierte Datenlogger** speichert bis zu 1 Mio. Messwerte.

Die Bedienung des Gerätes ist kinderleicht.

Die **CS Analyse-Software** ermöglicht die grafische und statistische Auswertung der gespeicherten Daten am PC. Aus den gespeicherten Stromkurven werden die **Kosten in € für den Energieverbrauch (kWh)** sowie **Last- und Leerlaufzeiten** jedes einzelnen Kompressors berechnet, incl. Ein-/ Ausschaltzyklen.

Aus der tatsächlich verbrauchten Druckluftmenge werden die Kosten pro m³, die Gesamtkosten pro Jahr in € berechnet. Eine spezielle Leckageberechnung **ermittelt** den Kostenanteil der Leckage an den Gesamtkosten in €.

Zur Dokumentation der Messwerte erhält der Anwender einen DIN A 4 Graphikausdruck als Tagesansicht und Wochenansicht jedes Kompressors auf Knopfdruck.

Der zusätzliche Ausdruck mit den statistischen Werten enthält alle notwendigen Daten zu einer vollständigen Analyse der Kompressorstationen.

Aufwendige Excel Berechnungen und Berichte erstellen entfallen.

Für den Endkunden kann jede Servicefirma einen Bericht mit eigenem Logo und beliebigen Zusatzinformationen erstellen.