



**Projektierungsrichtlinien
für Beheizungen mit
Wärmekabeln**

**Directives pour l'étude de
projets de chauffage par
câbles chauffants**

**Project planning guidelines
for trace heating systems**



Edition August 2010

1.1 Allgemeines

Rohrbegleit- und Tankbeheizungen tragen viel zu einem reibungslosen Betriebsablauf in der chemischen und der petrochemischen Industrie bei.

Die klassischen Anwendungsfälle sind der Schutz vor Frost, die Warmhaltung oder die Temperaturerhöhung von Rohrleitungen, Behältern und Armaturen für die verschiedensten Medien. Bei einigen Medien erreicht man durch die Beheizung eine Veränderung der Viskosität und damit bessere Pumpeigenschaften. Andere Medien kristallisieren oder kondensieren, falls Rohre oder Behälter nicht auf die entsprechenden Temperaturen aufgeheizt werden. In der Verfahrenstechnik ist ein Trend erkennbar, dass anstelle von Temperaturen von 40 bis 60°C heute vermehrt Temperaturen von 120 bis 160°C, teilweise bis über 300°C verlangt werden.

1.2 Die Gewährleistung des Explosionsschutzes

Der Explosionsschutz wird durch

- die Projektierung und die Auslegung,
- die Wahl der Wärmekabeltypen und der Schutzeinrichtungen sowie
- die Installation der Wärmekabel und das richtige Anbringen der Wärmedämmung

gewährleistet. Selbstverständlich müssen diese Anlagen auch den sicherheitstechnischen Anforderungen (Apparatevorschriften, Installationsvorschriften EN 60079-14, EN 60079-30-2 bzw. EN 60079-30-1 und jeweilige Werksvorschriften) genügen.

1.1 Généralités

Les dispositifs de chauffage d'accompagnement de conduites, de citernes et de conteneurs contribuent grandement au fonctionnement impeccable des installations chimiques et pétrochimiques.

Les cas classiques d'application sont la protection contre le gel, le maintien de la chaleur ou l'augmentation de la température des conduites, conteneurs et armatures destinés au transport des fluides les plus divers. Pour certains liquides, on obtient une modification de la viscosité par le chauffage et l'on favorise ainsi de meilleures propriétés de pompage. D'autres fluides encore se cristallisent ou se condensent lorsque les conduites ou les conteneurs ne sont pas chauffés ou maintenus à une température donnée.

Une tendance nettement perceptible du génie chimique consiste à exiger de plus en plus souvent des températures de 120 à 160° C, voire supérieures à 300° C au lieu d'une fourchette de 40 à 60° C.

1.2 La protection antidéflagrante

La protection antidéflagrante est assurée par

- l'étude du projet et sa conception,
- le choix des types de câbles chauffants et des dispositifs de protection,
- ainsi que par la pose des câbles et le montage correct de l'isolation.

Il va de soi que toute l'installation doit répondre aux exigences technologiques de la sécurité (directives relatives aux appareils, prescriptions sur les installations intérieures EN 60079-14, EN 60079-30-2 ou EN 60079-20-1 ainsi que les instructions du fabricant).

1.1 General points

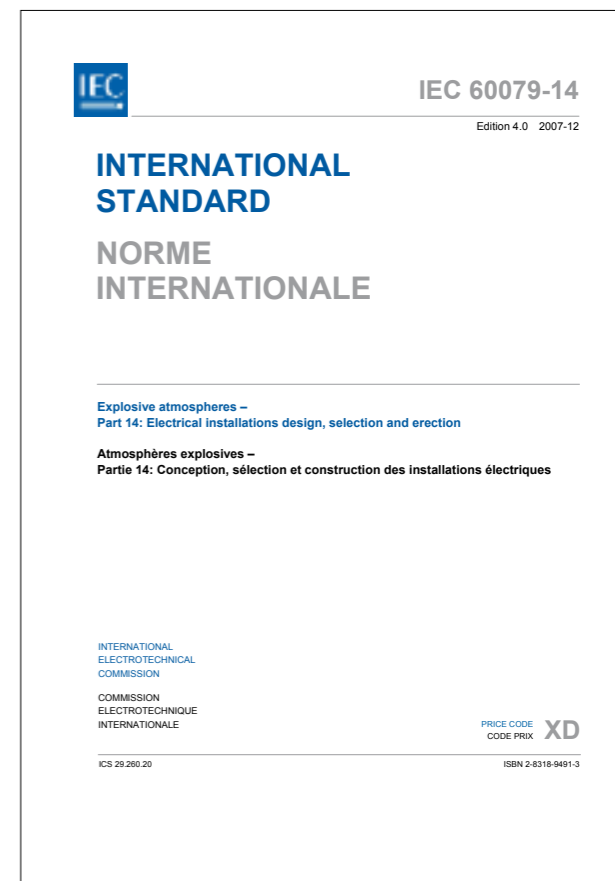
Trace heating systems for piping and tanks make a major contribution to smooth production operations in the chemical and petrochemical industries. Typical applications include frost protection and temperature maintenance or elevation for pipes, piping accessories and tanks carrying or storing all kinds of media. Trace heating changes the viscosity of some media to improve pumping properties. Other media may crystallize or condense if pipes and tanks are not heated to the right temperature levels. In the process engineering field, there is a clear trend toward higher temperatures, often in the 120 °C to 160 °C range or even above 300 °C as opposed to the usual levels between 40 °C and 60 °C.

1.2 Provision of explosion protection

Explosion protection is provided by

- planning and design measures
- selection of the right heating cable types and protective devices
- proper installation of the heating cables and application of thermal insulation

Of course these installations also have to comply with the applicable safety requirements (equipment codes, building installation codes IEC/EN 60079-14, IEC/EN 60079-30-2 or IEC/EN 60079-30-1 and the applicable plant codes).



2. Ermittlung von Wärmeverlusten

2.1 Rohrbegleitheizungen zur Temperaturstabilisierung

Die zur Einhaltung einer bestimmten Temperatur eines isolierten Rohres erforderliche Heizleistung (Watt) in Abhängigkeit der Länge lässt sich anhand der vereinfachten Gleichung (1) ermitteln.

Gleichung (1)

Q_1	Heizleistung [Watt]
L	Rohrlänge [m]
ϑ_R	Rohrtemperatur [°C]
ϑ_A	Aussen- bzw. Umgebungstemperatur [°C]
$\vartheta_R - \vartheta_A = \Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz [K]
λ_{IS}	Wärmeleitfähigkeit der Isolation [W/mK]
D_{IS}	Isolationsaussendurchmesser [m]
D_R	Rohraussendurchmesser [m]
α_A	äussere Wärmeübergangszahl [W/m²K]
1,43	Zuschlagsfaktor z entsprechend einem 30%igen Wärmeverlust auf dem theoretisch errechneten Wert

In Tabelle 1 ist die Heizleistung pro Längeneinheit [Watt/Meter] gemäss Gleichung (1) in Abhängigkeit der Isolationsdicke, des Rohrdurchmessers und der Temperaturdifferenz dargestellt.

Diese Tabelle ist für Ausseninstallationen (Windgeschwindigkeit 2,0 m/s) und eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035$ W/mK gültig. Auf Grund von anderen Betriebsbedingungen in Inneninstallationen kann die der Tabelle 1 entnommene Heizleistung um 10% vermindert (Multiplikation mit Faktor 0,9) werden. Der Zuschlagsfaktor z für 30% zusätzliche, nicht errechenbare Wärmeverluste ist bereits berücksichtigt.

2.1.1 Wärmeleitfähigkeit der Isolation

Bei der Auswahl der für ein Projekt in Frage kommenden Wärmeisolation ist grösste Sorgfalt geboten. Das Isolationsmaterial muss auf die zu erwartenden Betriebstemperaturen abgestimmt sein. Die Wärmeisolation soll einen Witterschutz erhalten, damit keine Feuchtigkeit eindringen kann, welche die Leistungsfähigkeit der Isolation und damit der Heizeinrichtung beeinträchtigt.

2. Dépistage des pertes calorifiques

2.1 Chauffage d'accompagnement de conduites pour la stabilisation de la température

La puissance calorifique (watts) nécessaire au maintien d'une température définie d'un tube isolé en rapport avec sa longueur peut être déterminée à l'aide d'une simple équation (1).

Equation (1)

Q_1	puissance calorifique [watts]
L	longueur du tube [m]
ϑ_R	température du tube [°C]
ϑ_A	température externe, soit température ambiante [°C]
$\vartheta_R - \vartheta_A = \Delta\vartheta$	différence de température [K]
λ_{IS}	diffusivité thermique de l'isolation [W/mK]
D_{IS}	diamètre extérieur de l'isolation [m]
D_R	diamètre extérieur du tube [m]
α_A	coefficient de transmission thermique externe [W/m²K]
1,43	facteur de majoration m correspondant à une perte calorifique de 30 % sur la valeur théorique obtenue

Dans le tableau 1, la puissance calorifique par unité de longueur [watts/mètre] est présentée selon l'équation (1) en relation avec l'épaisseur de l'isolation, le diamètre du tube et la différence de température.

Ce tableau est valable pour les installations à l'extérieur (vitesse du vent 2.0 m/s) et une diffusivité thermique $\lambda = 0.035$ W/mK. Dans d'autres conditions de service de l'installation interne, la puissance calorifique indiquée dans le tableau 1 pourra être réduite de 10 % (multiplication par facteur 0,9). Le facteur de majoration m pour 30% de pertes calorifiques non définissables a déjà été pris en considération.

2.1.1 Diffusivité thermique de l'isolation

Il y a lieu d'apporter un soin tout particulier au choix de l'isolation thermique. Le matériel isolant doit être adapté aux températures de service envisagées. L'isolation doit être munie d'une protection contre les intempéries, ceci afin qu'aucune humidité susceptible d'altérer son efficacité ne puisse la pénétrer, exerçant ainsi une influence néfaste sur l'installation de chauffage.

2. Determination of heat losses

2.1 Pipe trace heating systems for temperature stabilization

The heating capacity (in watts) required to maintain an insulated pipe of a given length at a certain temperature can be calculated with the simplified Equation (1).

Equation (1)

Q_1	heating capacity [W]
L	pipe length [m]
ϑ_R	pipe temperature [°C]
ϑ_A	ambient or outdoor temperature [°C]
$\vartheta_R - \vartheta_A = \Delta\vartheta$	temperature difference [K]
λ_{IS}	thermal conductivity of insulation [W/mK]
D_{IS}	outside diameter of insulation [m]
D_R	outside diameter of pipe [m]
α_A	external heat transmission coefficient [W/m²K]
1.43	allowance factor z corresponding to 30% heat loss on top of the value calculated theoretically

Table 1 lists the heating capacity per unit length [watts/meter] according to Equation 1 as a function of insulation thickness, pipe diameter, and temperature difference.

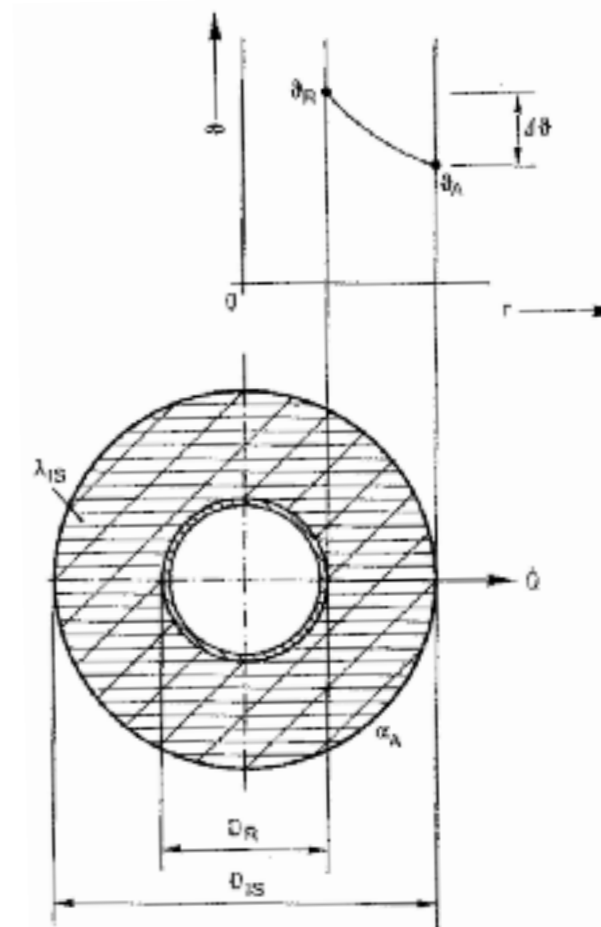
This table applies for outdoor installations (wind velocity 2.0 m/s) and thermal conductivity $\lambda = 0.035$ W/mK. For other operating conditions indoors, the heating capacity indicated by Table 1 can be reduced by 10% (multiplication factor 0.9). The figures in the table already include the 30% allowance for additional heat losses that do not lend themselves to calculation.

2.1.1 Thermal conductivity of the insulation

Great care should be taken in selecting the right thermal insulation for a given project. The insulating material should be suitable for the operating temperatures expected. Outer weatherproofing material should be applied to prevent moisture penetration, because this could impair the effectiveness of the insulation and of the heating system itself.

$$\dot{Q}_1 = \frac{L \cdot \pi \cdot (\vartheta_R - \vartheta_A) \cdot 1,43}{\frac{1}{2 \lambda_{IS}} \cdot \ln \left[\frac{D_{IS}}{D_R} \right] + \frac{1}{\alpha_A \cdot D_{IS}}}$$

Gleichung / Equation 1



Q_1	Heizleistung [Watt] puissance calorifique [watts] / heating capacity [W]
L	Rohrlänge [m] / longueur du tube [m] / pipe length [m]
ϑ_R	Rohrtemperatur [°C] / température du tube [°C] / pipe temperature [°C]
ϑ_A	Aussen- bzw. Umgebungstemperatur [°C] température externe, soit température ambiante [°C] ambient or outdoor temperature [°C]
$\vartheta_R - \vartheta_A = \Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz [K] différence de température [K] temperature difference [K]
λ_{IS}	Wärmeleitfähigkeit der Isolation [W/mK] diffusivité thermique de l'isolation [W/mK] thermal conductivity of insulation [W/mK]
D_{IS}	Isolationsaussendurchmesser [m] diamètre extérieur de l'isolation [m] outside diameter of insulation [m]
D_R	Rohraussendurchmesser [m] diamètre extérieur du tube [m] outside diameter of pipe [m]
α_A	äussere Wärmeübergangszahl [W/m²K] coefficient de transmission thermique externe [W/m²K] external heat transmission coefficient [W/m²K]
1,43	Zuschlagsfaktor z entsprechend einem 30%igen Wärmeverlust auf dem theoretisch errechneten Wert facteur de majoration m correspondant à une perte calorifique de 30 % sur la valeur théorique obtenue allowance factor z corresponding to 30% heat loss on top of the value calculated theoretically

Tabelle 1

Heizleistung pro Längeneinheit (Watt/m)
(in Abhängigkeit der Isolationsdicke, des Rohrdurchmessers und der Temperaturdifferenz dargestellt).
Bei Verwendung von Isoliermaterialien mit abweichenden λ -Werten muss zur Ermittlung der Heizleistung mit dem Faktor f (Abschnitt 2.1.1 Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien) multipliziert werden.

Isolationsdicke Insulation thickness	Rohrdurchmesser Nominal diameter	Temperaturdifferenz Temperature difference	Temperaturdifferenz Temperature difference
$\lambda=0,035$			
W/mK			

Rohrdurchmesser		Nominal diameter	
Nenndurchmesser DN		Nominal diameter	
Rohraussendurchmesser mm ISO	Rohrdurchmesser in Zoll	Diamètre des tubes mm ISO	Diamètre des tubes en pouces
6	8	10	15
10.2	13.5	17.2	21.3
1/8	3/4	3/8	1/2
5	6	8	9
8	10	11	13
11	13	15	17
14	16	19	22
16	19	23	26
22	26	30	35
4	5	6	7
6	7	8	9
8	9	10	11
10	11	13	14
12	13	15	17
15	18	20	23
19	22	25	29
23	27	30	34
27	31	35	40
3	4	5	6
5	6	7	8
7	8	9	10
9	10	12	13
11	12	14	16
13	15	18	21
16	18	21	24
18	21	23	26
22	25	28	31
25	29	32	37
3	4	5	6
4	5	6	7
5	6	7	8
6	7	8	9
7	8	9	10
8	9	10	11
9	10	11	12
10	11	12	13
11	12	13	14
12	13	14	15
13	14	15	16
14	15	16	17
15	16	17	18
16	17	18	19
17	18	19	20
18	19	20	21
19	20	21	22
20	21	22	23
21	22	23	24
22	23	24	25
23	24	25	26
24	25	26	27
25	26	27	28
26	27	28	29
27	28	29	30
28	29	30	31
29	30	31	32
30	31	32	33
31	32	33	34
32	33	34	35
33	34	35	36
34	35	36	37
35	36	37	38
36	37	38	39
37	38	39	40
38	39	40	41
39	40	41	42
40	41	42	43
41	42	43	44
42	43	44	45
43	44	45	46
44	45	46	47
45	46	47	48
46	47	48	49
47	48	49	50
48	49	50	51
49	50	51	52
50	51	52	53
51	52	53	54
52	53	54	55
53	54	55	56
54	55	56	57
55	56	57	58
56	57	58	59
57	58	59	60
58	59	60	61
59	60	61	62
60	61	62	63
61	62	63	64
62	63	64	65
63	64	65	66
64	65	66	67
65	66	67	68
66	67	68	69
67	68	69	70
68	69	70	71
69	70	71	72
70	71	72	73
71	72	73	74
72	73	74	75
73	74	75	76
74	75	76	77
75	76	77	78
76	77	78	79
77	78	79	80
78	79	80	81
79	80	81	82
80	81	82	83
81	82	83	84
82	83	84	85
83	84	85	86
84	85	86	87
85	86	87	88
86	87	88	89
87	88	89	90
88	89	90	91
89	90	91	92
90	91	92	93
91	92	93	94
92	93	94	95
93	94	95	96
94	95	96	97
95	96	97	98
96	97	98	99
97	98	99	100
98	99	100	101
99	100	101	102
100	101	102	103
101	102	103	104
102	103	104	105
103	104	105	106
104	105	106	107
105	106	107	108
106	107	108	109
107	108	109	110
108	109	110	111
109	110	111	112
110	111	112	113
111	112	113	114
112	113	114	115
113	114	115	116
114	115	116	117
115	116	117	118
116	117	118	119
117	118	119	120
118	119	120	121
119	120	121	122
120	121	122	123
121	122	123	124
122	123	124	125
123	124	125	126
124	125	126	127
125	126	127	128
126	127	128	129
127	128	129	130
128	129	130	131
129	130	131	132
130	131	132	133
131	132	133	134
132	133	134	135
133	134	135	136
134	135	136	137
135	136	137	138
136	137	138	139
137	138	139	140
138	139	140	141
139	140	141	142
140	141	142	143
141	142	143	144
142	143	144	145
143	144	145	146
144	145	146	147
145	146	147	148
146	147	148	149
147	148	149	150
148	149	150	151
149	150	151	152
150	151	152	153
151	152	153	154
152	153	154	155
153	154	155	156
154	155	156	157
155	156	157	158
156	157	158	159
157	158	159	160
158	159	160	161
159	160	161	162
160	161	162	163
161	162	163	164
162	163	164	165
163	164	165	166
164	165	166	167
165	166	167	168
166	167	168	169
167	168	169	170
168	169	170	171
169	170	171	172
170	171	172	173
171	172	173	174
172	173	174	175
173	174	175	176
174	175	176	177
175	176	177	178
176	177	178	179
177	178	179	180
178	179	180	181
179	180	181	182
180	181	182	183
181	182	183	184
182	183	184	185
183	184	185	186
184	185	186	187
185	186	187	188
186	187	188	189
187	188	189	190
188	189	190	191
189	190	191	192
190	191	192	193
191	192	193	194
192	193	194	195
193	194	195	196
194	195	196	197
195	196	197	198
196	197	198	199
197	198	199	200
198	199	200	201
199	200	201	202
200	201	202	203
201	202	203	204
202	203	204	205
203	204	205	206
204	205	206	207
205	206	207	208
206	207	208	209
207	208	209	210
208	209	210	211
209	210	211	212
210	211	212	213
211	212	213	214
212	213	214	215
213	214	215	216
214	215	216	217
215	216	217	218
216	217	218	219
217	218	219	220
218	219	220	221
219	220	221	222
220	221	222	223
221	222	223	224
222	223	224	225
223	224	225	226
224	225	226	227
225	226	227	228
226	227	228	229
227	228	229	230
228	229	230	231
229	230	231	232
230	231	232	233
231	232	233	234
232	233	234	235
233	234	235	236
234	235	236	237
235	236	237	238
236	237	238	239
237	238	239	240
238	239	240	241
239	240	241	242
240	241	242	243
241	242	243	244
242	243	244	245
243	244	245	246
244	245	246	247
245	246	247	248
246	247	248	249
247	248	249	250
248	249	250	251
249	250	251	252
250	251	252	253
251	252	253	254
252	253	254	255
253	254	255	256
254	255	256	257
255	256	257	258
256	257	258	259
257	258	259	260
258	259	260	261
259	260	261	262
260	261	262	263
261	262	263	264
262	263	264	265
263	264	265	266
264	265	266	267
265	266	267	268
266	267	268	269
267	268	269	270
268	269	270	271
269	270	271	272
270	271	272	273
271	272	273	274
272	273	274	275
273	274	275	276
274	275	276	277
275	276	277	278
276	277	278	279
277	278	279	280
278	279	280	281
279	280	281	282
280	281	282	283
281	282	283	284
282	283	284	285
283	284	285	286

Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit und den Faktor f sind aus Tabelle 2 ersichtlich. Der Faktor f wird angewandt, wenn die Heizleistung der Tabelle 1 entnommen wird und Isoliermaterialien mit abweichenden λ -Werten (abweichend von $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) angewandt werden. Die der Tafel 1 entnommene Heizleistung wird mit dem Faktor f multipliziert.

La diffusivité thermique et le facteur f figurent sur le tableau 2. Le facteur f est appliqué lorsque la puissance calorifique est celle du tableau 1 mais qu'il est fait usage d'un matériel isolant présentant d'autres valeurs λ (variant de $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$). La puissance calorifique figurant au tableau 1 sera multipliée par le facteur f.

The values for thermal conductivity and the factor f are given in Table 2. The factor f is applied in cases where the heating capacity is taken from Table 1 and insulating materials are used with thermal conductivities other than $\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$. Multiply the heating capacity taken from Table 1 by the factor f.

2.1.2 Äussere Wärmeübergangszahl α_A

Die äussere Wärmeübergangszahl α_A kann mit $23,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ nach DIN 4108 angenommen werden, wobei eine mittlere Windgeschwindigkeit von $2,0 \text{ m/s}$ berücksichtigt ist.

Aus Abbildung 1 kann α_A für verschiedene Windgeschwindigkeiten und Aussendurchmesser der Isolation D_{IS} abgelesen werden. Der Wert für α_A aus Kurve 1 muss für extreme Anwendungsfälle in die Gleichung (1) eingesetzt werden. Für diese Anwendungen kann der Wärmeverlust nicht der Tabelle 1 entnommen werden.

2.1.2 Coefficient de transmission thermique externe α_A

Selon la norme DIN 4108, un coefficient de transmission thermique externe α_A de $23,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ peut être admis, ceci en tenant compte d'une vitesse du vent de 2.0 m/s .

La figure 1 indique le coefficient α_A pour diverses vitesses du vent et différents diamètres extérieurs D_{IS} de l'isolation. Cette valeur α_A est utilisée dans l'équation (1) pour les cas extrêmes. La perte de chaleur propre à cette utilisation ne peut être reprise du tableau 1.

2.1.2 External heat transmission coefficient α_A

The external heat transmission coefficient α_A can be assumed to be $23.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ according to DIN 4108. Figure 1 is based on an average wind velocity of 2.0 m/s . Graph 1 gives values of α_A for various wind velocities and insulation outside diameters D_{IS} . For extreme applications, it is necessary to insert the value for α_A taken from Graph 1 into Equation (1). The heat loss cannot be read from Table 1 for such applications.

Richtwerte			Faktor f
Aeroflex	($\vartheta_m = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,039 W/mK	1.12
Isolierschalen	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,057 W/mK	1.63
	($\vartheta_m = 200 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,071 W/mK	2.03
Mineralwolle 25 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,054 W/mK	1.55
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,068 W/mK	1.95
Mineralwolle weiss zum Stopfen 70 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,041 W/mK	1.17
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,046 W/mK	1.31
Flumroc FLB 700 Stopfwolle 120 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 300 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,080 W/mK	2.29
	($\vartheta_m = 600 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,191 W/mK	5.46
Lamellmatten FML 250 32 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,049 W/mK	1.4
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,063 W/mK	1.8
Rockwool Schalen 850 125 kg/m ³	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,043 W/mK	1.23
	($\vartheta_m = 300 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,083 W/mK	2.37
	($\vartheta_m = 400 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,115 W/mK	3.29
Keramikfaser-matten 48 – 160 kg/m ³	($\vartheta_m = 400 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,090 W/mK	2.57
	($\vartheta_m = 800 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,170 W/mK	4.86
	($\vartheta_m = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,360 W/mK	10.29

Valeur de reference			Facteur f
Aeroflex	($\vartheta_m = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,039 W/mK	1.12
Enveloppe calorifuge	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,057 W/mK	1.63
	($\vartheta_m = 200 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,071 W/mK	2.03
Pierrelaine 25 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,054 W/mK	1.55
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,068 W/mK	1.95
Pierrelaine blanche à tampon 70 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,041 W/mK	1.17
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,046 W/mK	1.31
Flumroc FLB 700 étoupe 120 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 300 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,080 W/mK	2.29
	($\vartheta_m = 600 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,191 W/mK	5.46
Nattes lamellée FML 250 32 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,049 W/mK	1.4
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,063 W/mK	1.8
Rockwool Enveloppes 850 125 kg/m ³	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,043 W/mK	1.23
	($\vartheta_m = 300 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,083 W/mK	2.37
	($\vartheta_m = 400 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,115 W/mK	3.29
Fibre céramique lamellées 48 – 160 kg/m ³	($\vartheta_m = 400 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,090 W/mK	2.57
	($\vartheta_m = 800 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,170 W/mK	4.86
	($\vartheta_m = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,360 W/mK	10.29

Approximate figures			Factor f
Aeroflex	($\vartheta_m = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,039 W/mK	1.12
Preformed shells	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,057 W/mK	1.63
	($\vartheta_m = 200 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,071 W/mK	2.03
Mineral wool 25 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,054 W/mK	1.55
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,068 W/mK	1.95
White mineral wool for tamping 70 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,041 W/mK	1.17
	($\vartheta_m = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,046 W/mK	1.31
Flumroc FLB 700 tamping wool 120 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,035 W/mK	1.00
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,045 W/mK	1.29
	($\vartheta_m = 300 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,080 W/mK	2.29
	($\vartheta_m = 600 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,191 W/mK	5.46
Layered mats FML 250 32 kg/m ³	($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,049 W/mK	1.4
	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,063 W/mK	1.8
Rockwool shells 850 125 kg/m ³	($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,043 W/mK	1.23
	($\vartheta_m = 300 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,083 W/mK	2.37
	($\vartheta_m = 400 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,115 W/mK	3.29
Ceramic fibre mats 48 – 160 kg/m ³	($\vartheta_m = 400 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,090 W/mK	2.57
	($\vartheta_m = 800 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,170 W/mK	4.86
	($\vartheta_m = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,360 W/mK	10.29

Vergleich molekulare Wärmeleitfähigkeit von ruhender Luft

($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,030 W/mK
($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,033 W/mK

Tabelle 2 Wärmeleitfähigkeit (in Abhängigkeit des Isoliermaterials und der Betriebstemperatur m)

Comparaison conductibilité thermique moléculaire de l'air stagnant

($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,030 W/mK
($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,033 W/mK

Tableau 2 Conductibilité thermique (en fonction du matériel isolant et de la température de service ϑ_m)

For comparison: molecular thermal conductivity of stationary air

($\vartheta_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,030 W/mK
($\vartheta_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,033 W/mK

Table 2 Thermal conductivity (as a function of the insulating material and the operating temperature J_m)

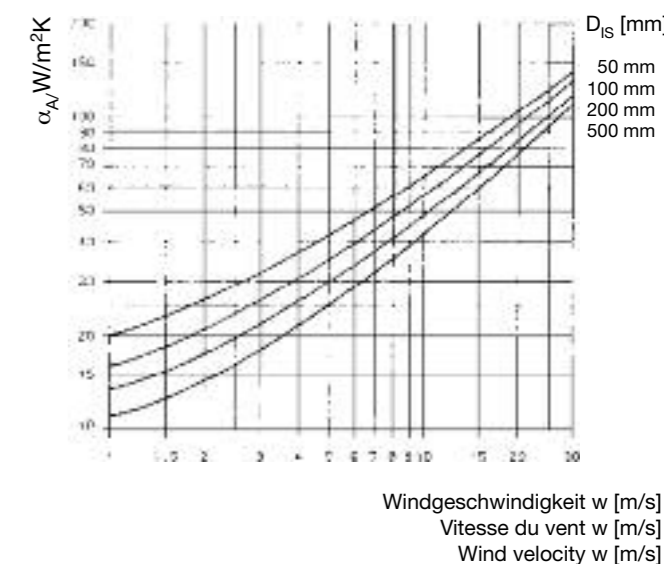


Abbildung 1: Äussere Wärmeübergangszahl in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und des Aussendurchmessers der Isolation D_{IS}

Figure 1: Coefficient de transmission de chaleur extérieure en fonction de la vitesse du vent et du diamètre extérieur de l'isolation D_{IS}

Figure 1: Exterior coefficient of heat transmission as a function of wind speed and of outer diameter of insulating D_{IS}

10

2.1.3 Zuschlag für nicht mit Sicherheit berechenbare Wärmeverluste

Beim Anbringen der Isolation entstehen immer Abweichungen durch Luftspalten, in der Dicke und bei der Wärmeleitzahl λ . Ebenso entstehen durch Flansche, Ventile, Armaturen und Aufhängungen zusätzliche Wärmeverluste, die nicht exakt berechenbar sind. Um diese zusätzlichen Verluste zu decken, wird mit Hilfe eines Zuschlagsfaktors $z = 1,43$ die errechnete Heizleistung um 30% erhöht. In diesen Zuschlägen sind allfällige nicht isolierte Flansche und Armaturen nicht enthalten.

Wärmeverlust (%)	0	10	15	20	25	30	35	40
Faktor z	1	1,11	1,18	1,25	1,33	1,43	1,54	1,67

2.2 Behälterbeheizungen zur Temperaturstabilisierung

Ähnlich der vereinfachten Gleichung (1) für Rohrbegleitheizungen ergibt sich Gleichung (2) für Behälter als Heizleistung in Abhängigkeit von der Behälteroberfläche, der Temperaturdifferenz, dem Isolationsmaterial und der Isolationsdicke.

Gemäss Abbildung 2 gilt für die Oberfläche zylindrischer Behälter:

$$A = \pi \cdot D \cdot (D/2 + H)$$

und nach Abbildung 3 für kubische Behälter:

$$A = 2 \cdot [(B \cdot L) + (L \cdot H) + (B \cdot H)]$$

Gleichung (2)

- Q_2 Heizleistung [Watt]
- A Oberfläche [m²]
- ϑ_B Behälterinnentemperatur [°C]
- ϑ_A Aussen- bzw. Umgebungstemperatur [°C]
- $\vartheta_B - \vartheta_A = \Delta\vartheta =$ Temperaturdifferenz [K]
- ϑ_{IS} Schichtdicke der Isolation [m]
- λ_{IS} Wärmeleitzahl der Isolation [W/mK]
- D_{IS} Isolationsaussendurchmesser [m]
- α_A äussere Wärmeübergangszahl [W/m²K]
- 1,43 Zuschlagsfaktor z entsprechend einem 30%igen Wärmeverlust auf dem theoretisch errechneten Wert

Für die äussere Wärmeübergangszahl α_A und die zusätzlichen Parameter gelten die gleichen Bedingungen wie unter Punkt 2.1.

2.1.3 Majoration pour perte de chaleur calculée avec marge de sécurité

Des différences surviennent pratiquement toujours lors de la pose de l'isolation, du fait de la discontinuité du matériel, que ce soit dans son épaisseur ou dans sa diffusivité thermique λ . De plus, les flasques, soupapes, armatures et suspensions entraînent elles aussi des fuites thermiques impossibles à calculer exactement. Afin de compenser ces pertes, on applique un facteur de majoration $m = 1,43$ augmentant ainsi de 30% la puissance calorifique calculée. Cette majoration ne tient pas compte des éventuelles flasques et armatures non isolées.

Perte calorifique (%)	0	10	15	20	25	30	35	40
Facteur z	1	1,11	1,18	1,25	1,33	1,43	1,54	1,67

2.2 Chauffages de conteneurs pour la stabilisation de la température

L'équation pour le chauffage des conteneurs (2) en rapport avec la surface externe, la différence de température, le matériel isolant et l'épaisseur de ce dernier est similaire à celle des conduites (1).

Conformément à la figure 2, la surface externe du conteneur cylindrique se détermine comme suit:

$$A = \pi \cdot D \cdot (D/2 + H)$$

et pour l'illustration 3, conteneur cubique:

$$A = 2 \cdot [(L \cdot P) + (L \cdot H) + (B \cdot H)]$$

Equation (2)

- Q_2 puissance calorifique [watts]
- A surface totale [m²]
- ϑ_B température du conteneur [°C]
- ϑ_A température externe, soit température ambiante [°C]
- $\vartheta_B - \vartheta_A = \Delta\vartheta =$ différence de température [K]
- ϑ_{IS} épaisseur de la couche isolante [m]
- λ_{IS} diffusivité thermique de l'isolation [W/mK]
- D_{IS} diamètre extérieur de l'isolation [m]
- α_A coefficient de transmission thermique externe [W/m²K]
- 1,43 facteur de majoration m correspondant à une perte calorifique de 30 % sur la valeur théorique obtenue

Les mêmes conditions qu'exposées sous pos. 2.1 s'appliquent au coefficient de transmission thermique externe α_A et aux paramètres complémentaires.

2.1.3 Allowance for heat losses that cannot be calculated with certainty

Whenever insulation is applied, variances always occur as a result of gaps and variations in thickness and heat conductivity λ . Also, it is impossible to calculate the heat losses created by flanges, valves, piping accessories and hangers precisely. To cover these additional losses, an allowance factor $z = 1.43$ is applied to increase the calculated heat loss by 30%.

The following allowances do not take any uninsulated flanges or piping accessories into account.

Heat loss (%)	0	10	15	20	25	30	35	40
Factor z	1	1.11	1.18	1.25	1.33	1.43	1.54	1.67

2.2 Tank heating systems for temperature stabilization

Like the simplified Equation (1) for pipe trace heating systems, Equation (2) yields the heating capacity required for tanks as a function of tank surface area, temperature difference, insulation material and insulation thickness.

As depicted in Figure 2, the surface area of cylindrical tanks is calculated with:

$$A = \pi \cdot D \cdot (D/2 + H)$$

As shown in Figure 3, the area of cubic tanks is obtained from:

$$A = 2 \cdot [(B \cdot L) + (L \cdot H) + (B \cdot H)]$$

Equation (2)

- Q_2 heating capacity [W]
- L pipe length [m]
- ϑ_B pipe temperature [°C]
- ϑ_A ambient or outdoor temperature [°C]
- $\vartheta_B - \vartheta_A = \Delta\vartheta =$ temperature difference [K]
- λ_{IS} thermal conductivity of insulation [W/mK]
- D_{IS} outside diameter of insulation [m]
- α_A external heat transmission coefficient [W/m²K]
- 1.43 allowance factor z corresponding to 30% heat loss on top of the value calculated theoretically

For the external heat transmission coefficient α_A and the other variables, the conditions described in point 2.1 apply.

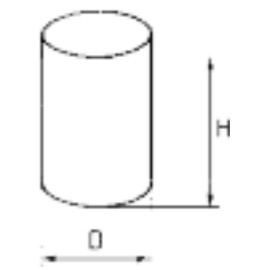


Abbildung / Figure 2

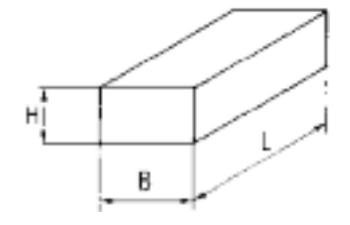


Abbildung / Figure 3

$$Q_2 = \frac{A \cdot (\vartheta_B - \vartheta_A) \cdot 1,43}{\frac{\vartheta_{IS}}{\lambda_{IS}} + \frac{1}{\alpha_A}}$$

Gleichung / Equation 2

3. Ermittlung der Heizleistung (Temperaturerhöhung)

In bestimmten Anwendungsfällen müssen Medien in Rohrleitungen oder in Behältern erwärmt werden können. Verschiedene Medien sind nur oberhalb bestimmter Temperaturen pumpfähig (Viskositätsprobleme) oder kristallisieren unterhalb einer entsprechenden Temperatur. Um in jedem Fall die Betriebssicherheit zu gewährleisten, wird nach Gleichung (3) die zu einer Temperaturerhöhung nötige Heizleistung ermittelt:

Gleichung (3)

Q_3 Heizleistung für gewünschte Temperaturerhöhung [Watt] bei einer Aufheizzeit von einer Stunde

t Aufheizzeit in Stunden [h]

M_1 zu erwärmende Menge des Mediums [kg]

M_2 zu erwärmende Masse des Rohres oder des Behälters [kg]

c_{p1} spezifische Wärme des Mediums [kJ/kgK]

c_{p2} spezifische Wärme des Rohres oder des Behälters [kJ/kgK]

$\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz, um die das Medium bzw. die Rohre oder Behälter erwärmt werden müssen [K]

$0,278 \cdot \text{kJ} = \text{Wh}$

Muss ein Medium zusätzlich aufgeschmolzen werden, muss zusätzlich die Schmelzwärme des Mediums berücksichtigt werden (Änderung des Aggregatzustandes).

3. Définition de la puissance calorifique (augmentation de température)

Dans certains cas d'application, le fluide circulant dans les conduites ou stocké dans les conteneurs doit être préchauffé ou chauffé. Certains fluides ne peuvent être pompés qu'à une certaine température (viscosité) et se cristallisent au-dessous de celle-ci. Afin de garantir le fonctionnement en toute circonstance, une majoration de la température sera apportée à la puissance calorifique nécessaire:

Equation (3)

Q_3 puissance calorifique [watts] pour l'augmentation de température nécessaire avec une durée d'échauffement d'une heure

t durée d'échauffement en heures [h]

M_1 quantité de fluide à chauffer [kg]

M_2 masse des tubes ou du conteneur à chauffer [kg]

c_{p1} température spécifique du fluide [kJ/kgK]

c_{p2} température spécifique des tubes ou du conteneur [kJ/kgK]

$\Delta\vartheta$ différence de température à laquelle le fluide, les tubes et le conteneur doivent être chauffés [K]

$0,278 \cdot \text{kJ} = \text{Wh}$

Si en plus le fluide doit être liquéfié, il y aura lieu d'ajouter la chaleur nécessaire à cette opération (modification de l'état de l'agrégat).

3. Determination of heating capacity (temperature increase)

In some applications, it is necessary to be able to heat media in pipes or tanks. Some media are pumpable only above a certain temperature (viscosity problems), and some tend to crystallize below a certain temperature. To ensure trouble-free operation nevertheless, Equation (3) is employed to calculate the heating capacity required for a given temperature increase:

Equation (3)

Q_3 heating capacity [W] required to heat to the desired temperature in one hour

t heating time in hours [h]

M_1 quantity of medium to be heated [kg]

M_2 mass of pipe or tank to be heated [kg]

c_{p1} specific heat of medium [kJ/kgK]

c_{p2} specific heat of pipe or tank [kJ/kgK]

$\Delta\vartheta$ temperature difference by which the medium and the pipe or tank have to be heated [K]

$0.278 \cdot \text{kJ} = \text{Wh}$

If a medium also has to be melted, it is also necessary to take its heat of fusion into consideration (change of state).

$$\dot{Q}_3 = \Delta\vartheta \cdot 0.278 \cdot (M_1 \cdot c_{p1} + M_2 \cdot c_{p2}) / t$$

Gleichung / Equation 3

4. Totale Heizleistung (Temperaturstabilisierung und -erhöhung)

4.1 Rohrbegleitheizungen

Die totale Heizleistung Q_{tot} ergibt sich durch das Addieren der Heizleistungen aus Gleichung (1) und (3):

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_3$$

4.2 Behälterbeheizungen

Die totale Heizleistung Q_{tot} ergibt sich durch das Addieren der Heizleistungen aus Gleichung (2) und (3):

$$Q_{tot} = Q_2 + Q_3$$

4. Puissance calorifique totale (stabilisation et augmentation de la température)

4.1 Chauffage d'accompagnement de conduites

La puissance calorifique totale Q_{tot} est établie par l'addition des puissances calorifiques des équations (1) et (3):

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_3$$

4.2 Chauffage de conteneurs

La puissance calorifique totale Q_{tot} est établie par l'addition des puissances calorifiques des équations (2) et (3):

$$Q_{tot} = Q_2 + Q_3$$

4. Total heating capacity (temperature stabilization and increase)

4.1 Pipe trace heating systems

The total heating capacity Q_{tot} is obtained by adding the heating capacities calculated with Equations (1) and (3):

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_3$$

4.2 Tank heating systems

The total heating capacity Q_{tot} is obtained by adding the heating capacities calculated with Equations (2) and (3):

$$Q_{tot} = Q_2 + Q_3$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{L \cdot \pi \cdot (\vartheta_R - \vartheta_A) \cdot 1,43}{\frac{1}{2 \lambda_{IS}} \cdot \ln \left[\frac{D_{IS}}{D_R} \right] + \frac{1}{\alpha_A \cdot D_{IS}}}$$

Gleichung / Equation 1

$$\dot{Q}_2 = \frac{A \cdot (\vartheta_B - \vartheta_A) \cdot 1,43}{\frac{\delta_{IS}}{\lambda_{IS}} + \frac{1}{\alpha_A}}$$

Gleichung / Equation 2

$$\dot{Q}_3 = \Delta \vartheta \cdot 0,278 \cdot (M_1 \cdot c_{p1} + M_2 \cdot c_{p2}) / t$$

Gleichung / Equation 3

5. Betriebsbedingungen

5. Conditions de service

5. Operating conditions

Eine Rohrleitung DN 50 transferiert ein Medium, das auf einer Temperatur von 120°C warm gehalten werden muss. Um den unterschiedlichen Leistungsbedarf aufzuzeigen, werden sowohl die notwendige Heizleistung für das Vorwärmen der Rohre in 4 Stunden als auch eine Temperaturerhöhung um 140 Kelvin in 12 Stunden ausgewiesen.

Une conduite DN 50 transporte un fluide devant être maintenu à une température de 120°C. Pour déterminer les diverses puissances nécessaires, on définira la puissance calorifique nécessaire pour l'échauffement des tubes en 4 heures de même qu'une augmentation de température de 140 kelvins en 12 heures.

A pipe of diameter DN 50 carries a medium that has to be maintained at a temperature of 120°C. To demonstrate the different power levels required, the heating capacities needed to pre-heat the pipe in 4 hours and to raise the medium's temperature by 140 Kelvin in 12 hours are shown.

5.1 Heizleistung zur Temperaturstabilisierung

5.1 Puissance calorifique pour la stabilisation de la température

5.1 Heating capacity for temperature stabilization

Rohrdurchmesser	DN 50
Isolation	Mineralfaser 0,047 W/mK
Isolationsdicke	80 mm
Umgebungstemperatur	-20 °C
Rohrtemperatur	120 °C
Rohrlänge	40 m
Heizleistung Q_1	1820 Watt

Diamètre tube	DN 50
Isolation	Pierrelaine 0,047 W/mK
Épaisseur isolation	80 mm
Température ambiante	-20° C
Température conduite	120° C
Longueur conduite	40 m
Puissance calorifique Q_1	1820 watts

Pipe diameter	DN 50
Insulation	mineral fibre 0.047 W/mK
Insulation thickness	80 mm
Ambient temperature	-20 °C
Pipe temperature	120 °C
Pipe length	40 m
Heating capacity Q_1	1820 W

5.2 Heizleistung zur Temperaturstabilisierung und zum Vorwärmen der Rohre

5.2 Puissance calorifique pour la stabilisation de la température et l'échauffement de la conduite

5.2 Heating capacity for temperature stabilization and preheating the pipe

Rohrdurchmesser	DN 50
Isolation	Mineralfaser 0,047 W/mK
Isolationsdicke	80 mm
Umgebungstemperatur	-20 °C
Rohrtemperatur	120 °C
Rohrlänge	40 m
Heizleistung Q_1	1820 Watt

Diamètre tube	DN 50
Isolation	Pierrelaine 0,047 W/mK
Épaisseur isolation	80 mm
Température ambiante	-20° C
Température conduite	120° C
Longueur conduite	40 m
Puissance calorifique Q_1	1820 watts

Pipe diameter	DN 50
Insulation	mineral fibre 0.047 W/mK
Insulation thickness	80 mm
Ambient temperature	-20 °C
Pipe temperature	120 °C
Pipe length	40 m
Heating capacity Q_1	1820 W

Vorwärmzeit der Rohre	4 Stunden
Masse M_2 der Rohre	180 kg
spezif. Wärme c_{p2}	0,447 kJ/kgK
Heizleistung Q_3	800 Watt
total Heizleistung Q_{tot}	2620 Watt

Temps d'échauffement des tubes	4 heures
Masse M_2 des tubes	180 kg
Chaleur spéc. c_{p2}	0,447 kJ/kgK
Puissance calorifique Q_3	800 watts
Puissance calorifique Q_{tot}	2620 watts

Pipe preheating time	4 hours
Pipe mass M_2	180 kg
Specific heat c_{p2}	0.447 kJ/kgK
Heating capacity Q_3	800 W
Total heating capacity Q_{tot}	2620 W

5.3 Heizleistung zur Temperaturstabilisierung, zum Vorwärmen der Rohre und zum Aufheizen des Mediums

5.3 Puissance calorifique pour la stabilisation de la température et l'échauffement de la conduite et pour le chauffage du fluide

5.3 Heating capacity for temperature stabilization, preheating the pipe, and heating the medium

Rohrdurchmesser	DN 50
Isolation	Mineralfaser 0,047 W/mK
Isolationsdicke	80 mm
Umgebungstemperatur	-20 °C
Rohrtemperatur	120 °C
Rohrlänge	40 m
Heizleistung Q_1	1820 Watt

Diamètre tube	DN 50
Isolation	Pierrelaine 0,047 W/mK
Épaisseur isolation	80 mm
Température ambiante	-20° C
Température conduite	120° C
Longueur conduite	40 m
Puissance calorifique Q_1	1820 watts

Pipe diameter	DN 50
Insulation	mineral fibre 0.047 W/mK
Insulation thickness	80 mm
Ambient temperature	-20 °C
Pipe temperature	120 °C
Pipe length	40 m
Heating capacity Q_1	1820 W

Aufheizzeit der Rohre	12 Stunden
Masse M_2 der Rohre	180 kg

Temps d'échauffement des tubes	12 heures
--------------------------------	-----------

Pipe heating time	12 hours
Pipe mass M_2	180 kg
Specific heat c_{p2}	0.447 kJ/kgK

Heizleistung [Watt]
Puissance calorifique [watts]
Heat capacity [watt]

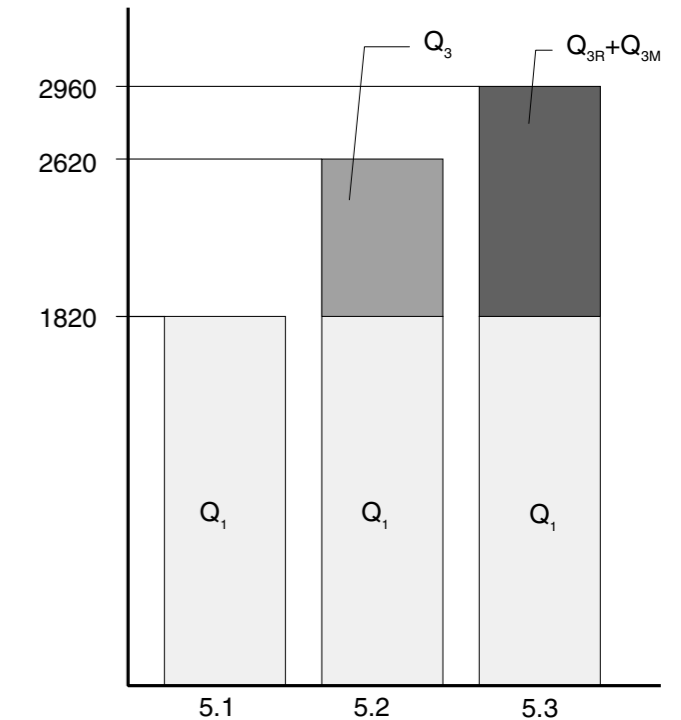


Abbildung 4:
Heizleistung in Funktion der Betriebsbedingungen

Figure 4:
Puissance calorifique en fonction des conditions de service

Figure 4:
Heating capacity as a function of the operating conditions



spezif. Wärme c_{p2}	0,447 kJ/kgK
Heizleistung Q_{3R}	260 Watt
Aufheizzeit des Mediums	12 Stunden
Masse M_1 des Mediums	190 kg
spezif. Wärme c_{p1}	1,42 kJ/kgK
Heizleistung Q_{3M}	880 Watt
totale Heizleistung Q_{tot}	2960 Watt

Muss ein Medium zusätzlich aufgeschmolzen werden, muss zusätzlich die Schmelzwärme des Mediums berücksichtigt werden (Änderung des Aggregatzustandes).

Masse M_2 des tubes	180 kg
Chaleur spéc. c_{p2}	0,447 kJ/kgK
Puissance calorifique Q_{3R}	260 watts
Temps d'échauffement du fluide	12 heures
Masse M_1 du fluide	190 kg
Chaleur spéc. c_{p1}	1,42 kJ/kgK
Puissance calorifique Q_{3M}	880 watts
Puissance calorifique Q_{tot}	2960 watts

Si en plus le fluide doit être liquéfié, il y aura lieu d'ajouter la chaleur nécessaire à cette opération (modification de l'état de l'agrégat).



Heating capacity Q_{3R}	260 W
Medium heating time	12 hours
Medium mass M_1	190 kg
Specific heat c_{p2}	1.42 kJ/kgK
Heating capacity Q_{3M}	880 W
Total heating capacity Q_{tot}	2960 W

If a medium also has to be melted, it is also necessary to take its heat of fusion into consideration (change of state).

6. Wahl der Wärmekabeltypen, der Temperaturüberwachung und der Anschlusskästen

6.1 Wahl der Wärmekabeltypen

6.1.1 Korrosion

6.1.1.1 Wärmekabel mit Kunststoffisolationen

In chemischen und petrochemischen Anlagen ist dem Korrosionsschutz besondere Beachtung zu schenken. Durch Undichtheiten bei Flanschen und Armaturen können jederzeit Chemikalien austreten, welche das Wärmekabel zu zerstören vermögen.

Normalerweise wird ein Kupfergeflecht als mechanischer Schutz und – der guten Leitfähigkeit wegen – auch für den Schutzleiter gewählt. Das Kupfergeflecht ist aber nicht chemikalienbeständig, so dass nur mit Hilfe eines zusätzlichen Kunststoffmantels die notwendige Sicherheit und Korrosionsbeständigkeit erzielt werden können. Auf der anderen Seite ist der zusätzliche Kunststoffmantel für die Wärmeübertragung in keiner Weise förderlich.

6.1.1.2 Wärmekabel mit Mineralisolation

Für Hochtemperaturanwendungen stehen mineralisierte Wärmekabel mit einem äusseren Mantel aus Chromnickelstahl oder Inconel (Nickellegierung) zur Verfügung. Besonders die Nickellegierungen weisen auch unter höheren Temperaturen eine gute Korrosionsbeständigkeit auf.

6.1.2 Metallgeflecht oder äusserer Metallmantel und Schutzleiteranschluss

Die Vorschriften verlangen für den Schutzleiter (PE) wegen der guten Leitfähigkeit ein Kupfergeflecht mit einem Deckungsfaktor von 70% oder einen äusseren Metallmantel. Da Kupfergeflechte grundsätzlich nicht chemikalienbeständig sind, muss mit Hilfe eines zusätzlichen Kunststoffmantels die notwendige Korrosionsbeständigkeit erzielt werden. Der Schutzleiter ist bei Wärmekabeln vorschriftsgemäss beidseitig anzuschliessen.

6.1.3 Temperatur

Die eingesetzten Wärmekabel sind in sehr unterschiedlichem Masse temperaturbeständig. Es ist von Anfang an abzuklären, welches die

6. Choix du type de câbles chauffants, du contrôle de température et des coffrets de raccordement

6.1 Choix du type de câbles chauffants

6.1.1 Corrosion

6.1.1.1 Câbles chauffants sous gaine plastique

Dans les installations chimiques et pétrochimiques, il y a lieu d'accorder un soin tout particulier à la protection contre la corrosion. Il peut se produire en tout temps que des substances chimiques s'échappent par des fuites survenant à proximité des flasques et des armatures; ces fuites sont susceptibles d'endommager le câble chauffant.

On applique normalement une tresse en cuivre à titre de protection mécanique et – du fait de la bonne conduction – également pour le fil pilote. Le cuivre ne résiste cependant pas aux substances chimiques, si bien qu'une gaine en plastique est indispensable pour assurer une protection suffisante contre la corrosion. Par ailleurs, le plastique n'est guère favorable à la transmission thermique.

6.1.1.2 Câbles chauffants avec isolation minérale

Pour les températures très élevées, on dispose de câbles isolés au moyen de matière minérale et enfermés dans une gaine extérieure d'acier chromé-nickelé ou d'inconel (alliage chrome-nickel). Les alliages chrome-nickel accusent une résistance à la corrosion particulièrement efficace pour les températures élevées également.

6.1.2 Tresse métallique ou gaine métallique externe et raccordement des conducteurs de protection

Les prescriptions en vigueur exigent pour les conducteurs de protection (PE) une tresse de cuivre d'un facteur de couverture de 70% ou une gaine métallique externe. Etant donné que le cuivre n'est par définition pas résistant aux substances chimiques, la protection indispensable contre la corrosion devra être assurée par une gaine de plastique. Selon les prescriptions, la liaison des conducteurs de protection des câbles chauffants doit être bilatérale.

6.1.3 Température

Les câbles chauffants installés accusent une constance thermique fort variable. Il y a donc lieu de déterminer dès le départ la température

6. Selection of heating cable types, temperature monitors and junction boxes

6.1 Selection of heating cable types

6.1.1 Corrosion

6.1.1.1 Heating cables with plastic insulation

In chemical and petrochemical plants, corrosion protection is extremely important. Leaky flanges and piping accessories can expose the heating cables to chemicals capable of destroying them. Copper braiding is normally used as a mechanical shield, and is frequently selected as earth conductor as well because of its good conductivity. But because copper braiding is not resistant to chemicals, an additional plastic sheath is needed to ensure the necessary safety and corrosion resistance. But of course this sheath hardly improves the heat transfer properties.

6.1.1.2 Heating cables with mineral insulation

For high-temperature applications, mineral-insulated cables are available with an outer jacket of chrome nickel steel or Inconel (nickel alloy). The nickel alloys have exceptionally good corrosion resistance, even at high temperatures.

6.1.2 Metal braiding or external metal jacket and earth conductor connection

For the earth conductor (PE), electrical codes call for copper braiding with a coverage factor of 70% or an external metal jacket. Here again, the copper braiding has to be covered by an additional plastic sheath to give it the necessary resistance to chemical attack. To comply with the codes, the earth conductor has to be connected at both ends of the heating cable.

6.1.3 Temperature

Different types of heating cables vary widely in terms of thermal resistance. Right at the start, clarify the maximum admissible temperature of the heating cable and the maximum tempera-



Abbildung / Figure 5

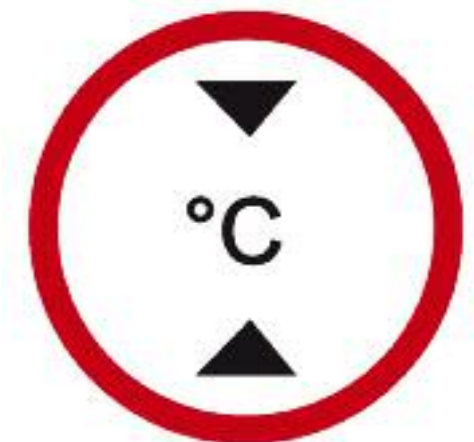


Abbildung / Figure 6

maximal zulässige Betriebstemperatur des Wärmekabels und welches die maximal auftretende Temperatur am zu beheizenden Rohr ist. Die maximal zulässige Betriebstemperatur sollte in der Grössenordnung von 40 bis 50 Kelvin höher liegen, und die spezifische Belastung des Wärmekabels muss auf den Anwendungsfall abgestimmt werden. Je grösser die Temperaturdifferenz zwischen Rohr- und maximal zulässiger Betriebstemperatur des Wärmekabels ist, um so höher kann die spezifische Leistung des Wärmekabels gewählt werden.

6.1.3.1 Erhöhte Temperatur durch Ausdampfen von Leitungen

Durch das Ausdampfen von Leitungen (Reinigungsprozesse) kann die maximal für das Wärmekabel zulässige Temperatur überschritten werden. Leitungen, die mit selbstbegrenzenden Wärmekabeln für den Frostschutz ausgerüstet sind, sind mit besonderer Vorsicht zu behandeln. Dem Datenblatt ist die maximal zulässige Temperatur bei ausgeschaltetem Heizkreis zu entnehmen. Der Halbleiter der selbstbegrenzenden Wärmekabel kann im betreffenden Fall zerstört werden. Damit ist die Leitung unter Umständen unbrauchbar und die Sicherheit bezüglich Frostschutz nicht mehr gewährleistet. Die Sicherheit in elektrischer Hinsicht ist nicht gefährdet, solange der Halbleiter «nur» einen grösseren Widerstand (grosse Reduktion der Heizleistung) annimmt und keine thermische Zerstörung des Kunststoffes eintritt.

6.1.4 Befestigung der Wärmekabel

6.1.4.1 Wärmekabel mit Kunststoffisolationen

Bei der Befestigung ist zu beachten, dass keine Einschnürung der Wärmekabel erfolgt. Aus diesem Grunde sollen keine Metallbänder eingesetzt werden. Metallbänder müssen mit Werkzeugen angezogen werden, wobei die auf die Kabel ausgeübte Kraft nicht unter Kontrolle ist. Je nach Anwendungsfall werden wärmebeständige Glasfaserklebebänder, Aluminiumklebebänder oder Kunststoffkabelbinder aus Teflon FEP (für 205 °C Dauerbetriebstemperatur erhältlich) eingesetzt. Auf die Anwendung von normalen Kabelbindern muss verzichtet werden, da eine allfällige thermische Zersetzung der Kabelbinder (aus der Installationstechnik) auch chemikalienbeständige Ummantelungen der Wärmekabel angreifen kann.

maximale de service à laquelle le câble sera exposé après sa pose. Cette température maximale devrait se situer dans une fourchette supérieure de 40 à 50 kelvins; les charges spécifiques auxquelles le câble sera soumis devront également être étudiées de cas en cas. Plus la différence sera grande entre la conduite et la température maximale admissible du câble et plus les prestations spécifiques choisies du câble pourront être élevées.

6.1.3.1 Température augmentée du fait de la vaporisation

Le nettoyage des conduites par vaporisation peut dépasser la température maximale admissible pour le câble chauffant. Les conduites équipées contre le gel d'un câble autolimité devront être traitées avec un soin particulier. La fiche de valeurs indique la température maximale admise lorsque le circuit de chauffage est débranché. Le semi-conducteur du limiteur de température risque d'être détruit. Ceci est susceptible de rendre la conduite inutilisable, la protection contre le gel n'étant plus assurée. La sécurité concernant l'électricité n'est pas menacée pour autant, ceci tant que le semi-conducteur ne fait «que» tolérer une résistance plus élevée et qu'aucun endommagement thermique du plastique ne se produit.

6.1.4 Fixation des câbles chauffants

6.1.4.1 Câbles chauffants avec isolation plastique

Il y a lieu de veiller, lors de la fixation, qu'aucun pincement ne se produise, raison pour laquelle il est préférable de renoncer aux bandes métalliques. Celles-ci doivent en effet être serrées au moyen d'un outil rendant incontrôlable la pression exercée sur le câble. Selon l'application, on utilisera des bandes collantes en fibre de verre, en aluminium ou des bandes-lieuses en Téflon FEP (livrable pour température de 205°C). On renoncera aux bandes-lieuses ordinaires (pour une question de technique d'installation), une désagrégation de celles-ci du fait de la température pouvant également nuire à la gaine (même résistante aux substances chimiques) du câble chauffant.

ture occurring on the pipe to be heated. The maximum admissible service temperature of the cable should normally be about 40 to 50 Kelvin higher and the unit loading of the cable should be adapted to the particular application. The greater the difference between the maximum pipe temperature and the cable's maximum admissible temperature, the higher the unit loading one can select for the cable.

6.1.3.1 Higher temperatures when pipes are steamed

The heating cable's maximum admissible temperature may be exceeded when pipes are steamed for cleaning purposes. This can be particularly critical in the case of self-limiting cables used to prevent freezing. The cable's data sheet states the maximum admissible temperature with the heating circuit switched off. If it is exceeded, the semiconductor of the self-limiting heating cable may be destroyed, possibly rendering the cable unusable and cancelling its frost protection. But the cable will remain electrically safe as long as the semiconductor «merely» assumes a higher resistance (serious reduction of heating capacity) without destruction of the plastic.

6.1.4 Fastening the heating cable

6.1.4.1 Heating cables with plastic insulation

Make sure the cable is not pinched during fastening. For the same reason, do not use metal tapes for this purpose. Because metal tapes have to be applied with tools, the installer has no «feel» for the force applied to the cable. Depending on the application, use heat-resistant fibreglass adhesive tape, aluminium adhesive tape, or plastic cable ties of Teflon FEP (obtainable for continuous service temperatures of 205°C). Do not use ordinary cable ties, because they may decompose thermally and attack even chemically resistant cable sheaths.



Abbildung / Figure 7

6.1.4.2 Mineralisierte Wärmekabel

Die mineralisierten Wärmekabel für Hochtemperaturanwendungen müssen mit Metallbändern befestigt werden. Beim Anziehen der metallischen Befestigungsbänder ist darauf zu achten, dass sich das ausdehnende Wärmekabel bewegen kann.

6.2 Temperaturüberwachung

6.2.1 Augen- und Notduschen

Unabhängig von den nachfolgenden Ausführungen dürfen Augen- und Notduschen nur mit einer kompletten Temperaturüberwachung bestehend aus Temperaturregler an der zu schützenden Rohrleitung und, wo notwendig, mit einem Temperaturbegrenzer ausgerüstet werden. Besondere Vorsicht ist bei Reduktionen geboten, da sich die Temperatur in nicht direkt überwachten Leitungsteilen aufschaukeln kann. Um jederzeit die Sicherheit einer Anlage zu gewährleisten, sollten Augen- und Notduschen ihrer Wichtigkeit wegen mit einem Minimumwächter ausgerüstet werden.

6.2.2 Selbstbegrenzende Wärmekabel

Dienen selbstbegrenzende Wärmekabel dem Frostschutz von Rohrleitungen und ist die Rohrtemperatur wegen der geringen zugeführten Leistung niedrig, benötigt man keine thermostatische Überwachung des Wärmekabels. Dient das selbstbegrenzende Wärmekabel jedoch der Beheizung einer Prozessleitung und werden entsprechende Minima- und Maximatemperaturen gefordert, kann auf die Zuhilfenahme eines Thermostates bzw. eines Reglers nicht verzichtet werden. Einzig durch die Selbstbegrenzung (max. Oberflächentemperatur begrenzt) des Wärmekabels kann auf einen Temperaturbegrenzer verzichtet werden.

Aussenanlagen werden sinnvollerweise aus Energiespargründen mit einem Thermostaten ausgerüstet. Dabei können sowohl Aussenthermostate als auch Kapillarrohrthermostate mit Fühlern auf der Rohroberfläche eingesetzt werden.

Die Regulierung der Rohroberfläche hat gegenüber dem Aussenthermostaten den Vorteil, dass die gewünschte Temperatur wirklich am Rohr garantiert werden kann. Wenn die Umgebungstemperatur abklingt, verstreicht eine gewisse Zeit, bis die Temperatur am isolierten Rohr

6.1.4.2 Câbles chauffants avec isolation minérale

Les câbles chauffants avec isolation minérale pour haute température devront être fixés avec des bandes métalliques. On veillera lors du serrage des bandes de fixation à ce que le câble reste amovible même dilaté.

6.2 Surveillance de la température

6.2.1 Têtes et rampes d'extinction

Indépendamment des éléments exposés ci-après, les installations de têtes et de rampes d'extinction doivent en toute circonstance disposer d'une surveillance intégrale de la température consistant en un thermostat lié à la conduite à protéger et un limiteur de température aux endroits stratégiques. On accordera une attention particulière aux réductions, la chaleur pouvant se transférer dans les parties n'étant pas contrôlées directement. Afin de garantir en tout temps la sécurité d'une installation, les têtes et les rampes d'extinction devraient être équipées d'un dispositif contrôleur à minimum.

6.2.2 Câbles chauffants autolimités

Les câbles chauffants servant à la protection de conduites contre le gel ne nécessitent pas de contrôle thermostatique lors d'une faible exploitation de ces conduites. En revanche, lorsque le câble chauffant autolimité sert au chauffage d'une conduite de processus et que des températures maximale et minimale sont exigées, on ne peut renoncer au service d'un thermostat ou d'un régulateur. Seule l'autolimitation du câble chauffant (température de surface limitée) permet alors de renoncer à un limiteur de température. Il est judicieux, par mesure d'économie d'énergie, d'équiper d'un thermostat les équipements installés à l'extérieur. On pourra aussi bien utiliser un thermostat extérieur qu'un thermostat à tube capillaire installé à la surface de la conduite.

Comparée au thermostat extérieur, la régulation à la surface de la conduite présente l'avantage de garantir réellement la température de la conduite. Lorsque la température ambiante baisse, il se passe toujours un laps de temps avant que celle de la conduite isolée diminue également, raison pour laquelle la régulation à la surface de cette dernière s'avère avantageuse.

6.1.4.2 Mineral-insulated heating cable

Mineral-insulated heating cables for high-temperature applications have to be fastened with metal tape. When tightening this tape, make sure the cable is still free to move as it expands.

6.2 Temperature monitoring

6.2.1 Eye baths, emergency sprinklers

Quite apart from the instructions given in the following, eye baths and emergency sprinklers always have to be equipped with a complete temperature monitoring system comprising a temperature controller on the respective pipe and a temperature limiter where needed. Special care should be taken where reducers are installed, because the temperature can easily get out of control in sections of piping not directly monitored. Because eye baths and emergency sprinklers are so important, they should be equipped with a minimum flow monitor to ensure the safety of the installation at all times.

6.2.2 Self-limiting heating cables

If self-limiting heating cables are used to prevent piping from freezing up and if the pipe temperature is low because little energy is imparted, the heating cable need not be monitored thermostatically. But if the self-limiting heating cable is used to heat process piping and minimum and maximum temperatures are specified, a thermostat or temperature controller is absolutely necessary. The temperature limiter can be dispensed with only if the heating cable is self-limiting (maximum surface temperature limited).

Outdoor installations should be equipped with a thermostat to save energy. Either outdoor thermostats or capillary tube thermostats with sensors on the pipe surface can be used.

The latter system – pipe surface mounting – has the advantage that the desired temperature can be guaranteed right on the pipe. When the ambient temperature drops, a certain amount of time goes by before the temperature on the insulated pipe also drops. So it is often desirable to measure the temperature right on the pipe surface.

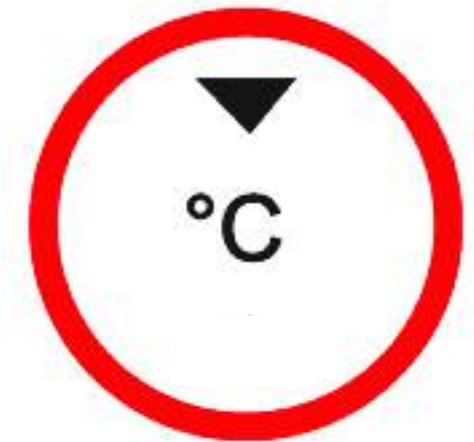


Abbildung / Figure 8

ebenfalls abklingt. Aus diesem Grunde kann eine Temperaturmessung an der Rohroberfläche sinnvoll sein.

6.2.3 Konventionelle Wärmekabel mit konstanter Heizleistung pro Längeneinheit

Konventionelle Wärmekabel werden normalerweise wegen ihrer konstanten, temperaturunabhängigen Leistung immer mit Thermostaten betrieben.

Bei Frostschutzinstallationen kann auch beim konventionellen Wärmekabel mit einem Regler gearbeitet werden, der von der Umgebungstemperatur abhängig ist. Trotzdem sollte dann die Temperatur am Rohr überwacht bzw. begrenzt werden.

Der Einsatz von Begrenzerthermostaten oder Begrenzungseinrichtungen ist in explosionsgeschützten Anlagen für konventionelle (nicht selbstbegrenzende) Wärmekabel zwingend vorgeschrieben. Einzige Ausnahme: Es kann der Nachweis erbracht werden, dass unter ungünstigsten Bedingungen (Störfall) die der Temperaturklasse zugeordnete maximale Oberflächentemperatur nicht überschritten wird.

Bei einem Drehstromsystem ist zu berücksichtigen, dass unter Umständen zwei Begrenzer an zwei verschiedenen Wärmekabeln installiert werden müssen, welche an zwei voneinander unabhängigen Phasen angeschlossen sind. Dadurch wird verhindert, dass beim Ausfall einer einzigen überwachten Phase bzw. eines Wärmekabels die zwei andern ohne Überwachung überhitzen können.

Bei Temperaturbegrenzern handelt es sich um eine Einrichtung zum Schutz vor allfällig zu hohen thermischen Belastungen und zur Einhaltung der der Temperaturklasse zugeordneten Oberflächentemperatur. Aus diesem Grunde müssen die Begrenzer immer mit einer manuellen Wiedereinschaltsperrung ausgerüstet sein. Es können plombierbare, gezahnte Scheiben (Abbildung 10) montiert werden, welche ein Verstellen der Nennansprechtemperatur durch Unbefugte ausschließen.

Um den einschlägigen Vorschriften für Temperaturbegrenzer zu genügen, müssen die Kapillarrohre immer mit einem zusätzlichen Metallschlauch geschützt oder in Rohre verlegt werden. Die Wiedereinschaltsperrung darf nur unter Verwendung von Werkzeugen zurückgestellt werden können. Ein aussenliegender Rückstell-

6.2.3 Câbles conventionnels à capacité constante de chauffage par unité de longueur

Normalement, les câbles chauffants conventionnels sont équipés de thermostats en raison de la constance de leur capacité et de leur indépendance quant à la température.

Dans le cas des installations de protection contre le gel par câble chauffant conventionnel, on peut également procéder au moyen d'un régulateur dépendant de la température ambiante. La température de la conduite devrait néanmoins être surveillée, voire limitée.

Dans les installations antidéflagrantes, l'application de thermostats limiteurs ou d'un équipement autolimité est exigée pour les câbles chauffants conventionnels (non autolimités). Une seule exception est tolérée lorsque la preuve peut être fournie qu'en cas de situation défavorable (perturbation) la température maximale admise dans la classe de température définie ne sera pas dépassée.

Dans un système à courant triphasé, il faut observer que, suivant les circonstances, deux limiteurs doivent être installés à deux câbles chauffants distincts raccordés chacun à deux phases indépendantes l'une de l'autre. On pourra ainsi éviter qu'en cas de panne d'une seule phase surveillée ou d'un câble chauffant, les deux autres échappent au contrôle et surchauffent.

Quant aux limiteurs de température, il s'agit d'un dispositif de protection contre toute charge thermique trop élevée et pour le maintien de la température de surface prescrite par la classe de température ad hoc, raison pour laquelle ces limiteurs devront toujours être équipés d'un dispositif d'antipompage. On pourra faire usage de disques dentés spéciaux (figure 10) plombés afin que la température nominale de réaction ne puisse être modifiée après la mise en service par une personne non-compétente.

Afin de répondre aux instructions déterminantes pour les limiteurs de température, les tubes capillaires devraient toujours être protégés par un tuyau métallique supplémentaire ou être placés à l'intérieur même des conduites. Le dispositif d'antipompage ne doit pouvoir être ouvert

6.2.3 Conventional heating cable with constant heating capacity per unit length

Because they display constant power levels regardless of temperature, conventional heating cables are normally operated with thermostats. But in frost protection installations, it is also possible to work with a controller using the ambient temperature as input. Even in these cases, the pipe temperature should be monitored and possibly limited.

The use of limiter thermostats or limiting devices is compulsory for conventional (not self-limiting) heating cables in explosionproof installations. Only exception: where it can be demonstrated that the maximum surface temperature prescribed for the temperature class will not be exceeded even under unfavourable conditions (malfunction).

In a 3-phase system, remember that two limiters may have to be installed on two different heating cables that are connected to two mutually independent phases. Reason: If just one phase or one heating cable were monitored, its failure would mean that the other two could overheat without being monitored.

Temperature limiters are devices that provide protection against excessive thermal loading as well as assurance that the surface temperature prescribed for a given temperature class will be maintained. Therefore the limiters must always be equipped with a manual reclosure latch. Sealed, geared disks can be installed (Figure 10) that prevent unauthorized persons from altering the preset response temperature. To satisfy the codes applicable to temperature limiters, the capillary tubes must be protected by an additional metal hose or installed inside tubes. The reclosure latch must require tools for resetting. An external reset button is inadmissible. Limiter thermostats that guarantee compliance with temperature class requirements require special certification.

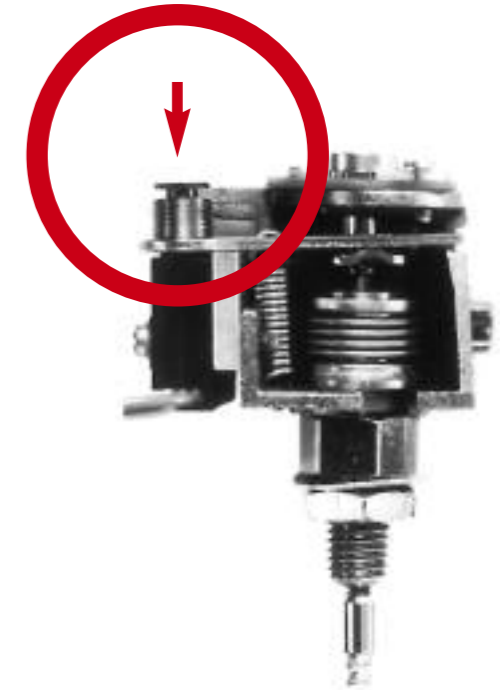


Abbildung 9:
Explosiongeschützter Temperaturefühler

Figure 9:
Limiteur de température antidéflagrant

Figure 9:
Explosionproof temperature limiter

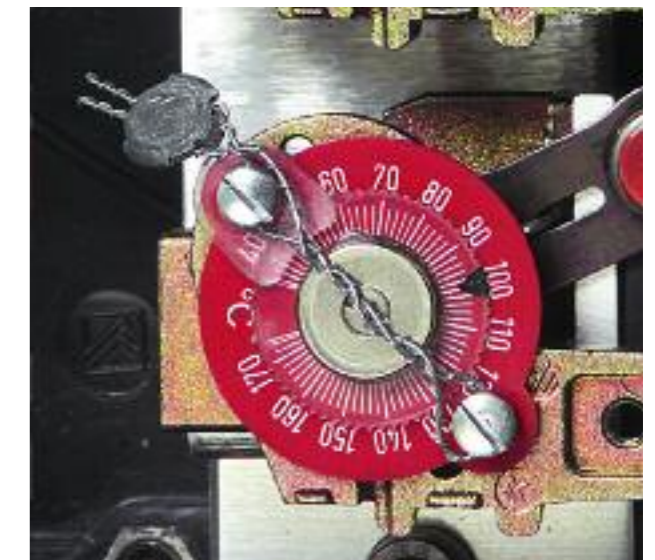


Abbildung / Figure 10

knopf ist nicht zulässig. Begrenzerthermostate, welche die Einhaltung der Temperaturklasse garantieren, verfügen über eine besondere Zulassung.

6.2.4 Anordnung der Temperaturfühler

Je nach Anordnung der Wärmekabel wird die Installation der Fühler gewählt. Die Abbildung 11 zeigt typische Orte für die Montage von Temperaturfühlern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Fühler eines Reglers nicht direkten Kontakt mit dem Wärmekabel haben. Regeleinrichtungen sollen die Oberflächentemperatur des überwachten Rohres bzw. Tanks regeln. In Spezialfällen ist es auch vorstellbar, dass Temperaturfühler direkt in das Medium im Rohr eingebaut werden. Auf diese Weise kann die Mediumtemperatur überwacht werden. Es genügt in diesem Fall, wenn das Wärmekabel nur noch mit einem Begrenzerthermostat ausgerüstet wird.

Der Einbauort der Regulierthermostate soll so gewählt werden, dass die Rohrtemperatur repräsentativ ist. Am Ende und am Anfang von Rohrleitungen können Temperaturunterschiede durch zusätzliche Wärmeverluste eintreten. Die Kapillarrohre sind so lang zu wählen, dass nicht die Temperatur der Randzonen gemessen wird. In extremen Fällen kann der Abstand vom Rohrleitungsende zur Temperaturmessung $\frac{1}{3}$ der Gesamtlänge betragen.

Wichtig ist, dass der Wärmekontakt zwischen dem Fühler und der Rohroberfläche gewährleistet ist.

6.2.5 Fühlergeometrie

Grundsätzlich spielt es keine Rolle, ob die Temperatur mit elektrischen Widerstandsfühlern (z.B. Pt-100-Widerstandsfühler) oder mit Fühlern von Kapillarrohrthermostaten gemessen wird. Elektrische Widerstandsfühler sind bei geeigneten Auswertungsgeräten bzw. Reglern genauer, messen jedoch die Temperatur sehr punktuell.

Kapillarrohrthermostate haben eine Hysterese, so dass geringe Temperaturschwankungen (2–4 K) möglich sind. Der grosse Vorteil der Kapillarrohrthermostate liegt jedoch darin, dass die Fühlergeometrie vollständig dem Anwendungsfall angepasst werden kann.

Grundsätzlich werden Fühler eingesetzt, welche

qu'au moyen d'un outil. Un bouton de relevage émergeant n'est pas autorisé. Les thermostats garantissant le respect de la classe de température font l'objet d'une approbation spéciale.

6.2.4 Disposition des capteurs de température

On répartit les capteurs selon la disposition des câbles chauffants. La fig. 11 illustre les endroits typiques de montage des capteurs de température. Il faut veiller à ce que les capteurs du régulateur ne soient pas en contact direct avec le câble chauffant. Les régulateurs ont pour objectif de régler la température de surface des conduites ou des conteneurs surveillés.

Dans certains cas spéciaux, on peut également envisager d'installer des capteurs de température directement dans le fluide transporté par la conduite. On pourra ainsi surveiller la température du fluide. Un seul thermostat limiteur pour le câble chauffant suffit alors.

Le thermostat de régulation doit être monté à un endroit où la température de la conduite est déterminante. En début et en fin de conduite, des différences résultant d'une perte de chaleur supplémentaire peuvent survenir. Il y a lieu de choisir les tubes capillaires d'une longueur telle qu'ils ne mesurent pas seulement la température des zones marginales. Dans les cas extrêmes, la distance entre la fin de la conduite et le point de mesure pourra représenter le $\frac{1}{3}$ de la longueur totale de celle-ci.

Il est indispensable que l'échange de chaleur entre la capteur et la surface de la conduite soit assuré.

6.2.5 Géométrie des capteurs

Il importe en principe peu que la température soit mesurée au moyen de capteurs à résistance (p.ex. Pt-100) ou de thermostats à tube capillaire. Avec les lecteurs, à savoir les régulateurs appropriés les résistances sont plus précises, elles mesurent cependant la température de manière très ponctuelle.

L'hystérèse des thermostats à tube capillaire permet de faibles variations de température (2 à 4K). Leur principal avantage réside cependant dans le fait que la géométrie des capteurs peut être entièrement adaptée à l'utilisation.

En principe, on fera usage de capteurs de 4,7 mm de section et mesurant la température sur une longueur de 200 à 430 mm (intégration).

6.2.4 Placement of the temperature sensor

Placement of the sensor depends on the heating cable arrangement. Figure 11 illustrates typical locations for installing temperature sensors. Remember: A controller's sensors do not contact the heating cable directly. Control systems should be set up to control the surface temperature of the pipe or tank being monitored.

In special cases, it is also conceivable that temperature sensors might be installed immersed in the medium inside the pipe. In this case the medium's temperature is monitored, and it is sufficient to equip the heating cable with a limiter thermostat only.

Controlling thermostats should be installed at locations that will yield a representative pipe temperature. At the ends of pipe runs, temperature differences can occur as a result of additional heat losses. So the capillary tubes should be selected long enough to avoid measuring the temperature of the marginal zones. In extreme cases the distance from the end of the pipe to the temperature measuring point may be $\frac{1}{3}$ of the overall length. The important thing is to make sure there is solid thermal contact between the sensor and the pipe surface.

6.2.5 Sensor geometry

It makes no real difference whether the temperature is measured with electrical resistance detectors (such as Pt-100 resistance sensors) or with sensors of capillary tube thermostats. Electrical resistance detectors are more accurate if used with the right processing devices or controllers, but they measure the temperature only at very specific points. Because capillary tube thermostats have hysteresis, small temperature fluctuations (2–4 K) are possible. Their great advantage is that the sensor geometry can be adapted freely to suit the particular application.

It is normal practice to use sensors with a diameter of 4.7 mm and to measure the temper-

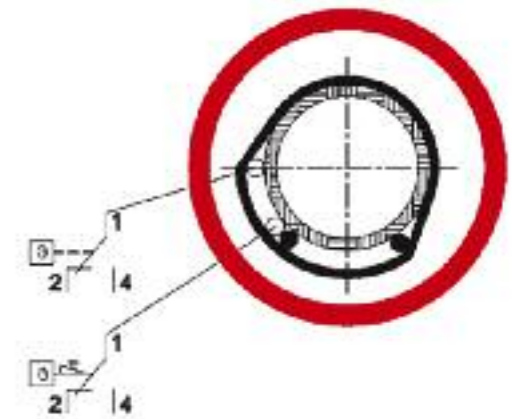


Abbildung 11: Anordnung der Temperaturfühler

Figure 11: Disposition des sondes de température

Figure 11: Location of temperature sensors

einen Durchmesser von 4,7 mm aufweisen und die Temperatur auf einer Länge von 200 bis 430 mm messen (Integration). In Sonderfällen stehen Fühler mit einem Durchmesser von 3,2 mm und einer Länge bis zu 1500 mm zur Verfügung. Ein spezieller Frostschutzthermostat hat eine Fühlerlänge von 6,0 m und schaltet die Heizung zu, sobald an einer beliebigen Stelle von 300 mm die eingestellte Temperatur unterschritten wird.

6.2.6 Minimum-Temperaturen

In Abhängigkeit vom Produkte in den Rohrleitungen wird teilweise verlangt, dass die Temperatur nicht unter einen bestimmten Wert absinkt (Kristallisation). Am einfachsten geschieht dies mit einem zusätzlichen Thermostaten (Temperaturwächter), wobei der jeweilige Zustand signalisiert werden kann.

6.2.7 Messfehler bei Thermostaten und Widerstandsfühlern

6.2.7.1 Kapillarrohrthermostat

Wird das Kapillarrohr eines Thermostaten dem zu beheizenden Rohr entlang verlegt, muss berücksichtigt werden, dass sich ein Messfehler einstellt. Durch die Erwärmung der Füllflüssigkeit im Kapillarrohr wirkt dieses zusätzlich als Temperaturfühler mit. Der Fehler kann ca. 1,5 °C pro Meter Kapillarrohr und 10 Kelvin Temperaturdifferenz betragen.

6.2.7.2 Pt-100 Widerstandsfühler

Bei Widerstandsfühlern können sich bei langen teilweise erwärmten Zuleitungen ebenfalls Messfehler einstellen. Eine erwärmte Kupferleitung ändert den Widerstand und beeinflusst die Temperaturmessung.

6.3 Anschlusskästen

Normalerweise werden die Anschluss-, die End- und die Sternpunktboxen in der Zündschutzart «erhöhte Sicherheit Ex e» ausgeführt. In diesen Anschlusskästen können sowohl Thermostate mit einem druckfest gekapselten Mikroschalter als auch druckfest gekapselte Schalter, Leuchten und Amperemeter eingebaut werden. Durch den Einbau der Temperaturüberwachung in die Anschlusskästen pro Heizkreis können die Installationen übersichtlich gestaltet werden. Werden anstelle von Polyesterkästen solche aus Aluminium eingesetzt, ist ein Anschluss für

Pour certains cas particuliers, on dispose de capteurs de 3,2 mm de section et d'une longueur allant jusqu'à 1500 mm.

Il existe un thermostat antigel disposant d'une capteur de 6,0 m et qui enclenche le chauffage aussitôt qu'à un point de détection de 300 mm la température est inférieure à un degré déterminé.

6.2.6 Températures minimales

Selon le produit transporté, il est parfois exigé que la température ne descende pas au-dessous d'une certaine valeur (cristallisation). La méthode la plus simple consiste alors à disposer un thermostat supplémentaire (contrôleur de température) signalant l'état du moment.

6.2.7 Erreur de mesure des thermostats ou des capteurs à résistance

6.2.7.1 Thermostat à tube capillaire

Lorsque le tube capillaire d'un thermostat est posé le long de la conduite chauffée, il y a lieu de tenir compte d'un décalage de température. Le liquide de remplissage du tube agit comme un capteur supplémentaire. Ce décalage peut atteindre 1,5°C environ, soit 10 kelvins.

6.2.7.2 Capteur à résistance Pt-100

Lors de la limitation par capteur à résistance, des décalages de mesure peuvent survenir quant aux amenées d'une grande longueur chauffées partiellement. Un tube de cuivre chauffé modifie la résistance et influence la mesure de température.

6.3 Boîtes à bornes

Les boîtes de répartition, terminales et à borne neutre sont normalement exécutées dans le mode de protection «sécurité augmentée Ex e». Il est possible d'y incorporer des thermostats à microstructure sous enveloppe antidéflagrante, de même que des interrupteurs, des diodes ou des ampèremètres également sous enveloppe antidéflagrante.

Pour l'intégration d'un contrôle de température par circuit de chauffe dans les boîtes à bornes, il est possible d'organiser l'installation d'une manière claire et ordonnée.

ature over a length of 200 mm to 430 mm (integration). For special cases, sensors are available with a diameter of 3.2 mm and lengths up to 1500 mm. A special frost protection thermostat has a sensor length of 6.0 m and cuts the heating in whenever the temperature drops below the preset figure over 300 mm anywhere along the pipe.

6.2.6 Minimum temperatures

Some media carried in pipes cannot be allowed to cool down below a certain temperature (because of crystallization). This is normally assured with an additional thermostat (temperature monitor); the current temperature can be displayed if desired.

6.2.7 Measuring errors with thermostats and resistance sensors

6.2.7.1 Capillary tube thermostat

If the thermostat's capillary tube is laid along the pipe being heated, a measuring error will result. Because the liquid in the tube heats up, it acts as a supplementary temperature sensor. The error can amount to about 1.5 °C per meter of capillary tube and 10 K of temperature difference.

6.2.7.2 Pt-100 resistance detector

Measuring errors can arise if resistance detectors are supplied by long, and possibly heated, lines. A heated copper conductor changes the resistance and affects the temperature measurement.

6.3 Junction boxes

Normally, the junction, terminal, and star-point terminal boxes are built to the «increased safety Ex e» protection standard. Thermostats with a flameproof microswitch can be installed in these boxes, and so can flameproof switches, lighting fixtures and ammeters. Installing the temperature monitoring devices in the respective junction boxes for each heating circuit makes systems very neat and clear. If aluminium boxes are used instead of polyester ones, a connection should be provided for an equipotential bonding conductor. If Pt-100 resistance detectors are



Abbildung / Figure 12

einen Potenzialausgleichsleiter vorzusehen. Beim Anschluss eigensicher gespiesener Widerstandsthermometer Pt-100 für die Temperaturregelung sind die eigensicheren Anschlussklemmen vorschriftsgemäss von den übrigen um 50 mm zu distanzieren.

6.3.1 Klemmenabdeckungen

Beinhalten die Anschlusskästen Klemmen sowohl der Zündschutzart «erhöhte Sicherheit Ex e» als auch der Zündschutzart «Eigensicherheit Ex i», so sind die ersteren zusätzlich gegen unbeabsichtigtes Berühren mit Werkzeugen und Messinstrumenten zu schützen. Eigensichere Stromkreise dürfen mit explosionsgeschützten Messinstrumenten jederzeit überprüft werden.

6.3.2 Kabeleinführungen

Um den Schutzgrad IP 54 zu gewährleisten, können normale Kabelverschraubungen verwendet werden. Vor allem in chemischen und petrochemischen Betrieben ist zu beachten, dass Dichteinsätze von Kabelverschraubungen aus Nitril-Kautschuk im Hinblick auf die aggressive Umgebungsluft unter Umständen nicht genügen. In diesen Fällen ist ein Dichteinsatz aus Viton vorzuziehen.

Metallische Kabelverschraubungen in Kunststoffgehäusen dürfen ohne zusätzliche Erdung eingesetzt werden. Eine zusätzliche Erdung erfolgt nur in denjenigen Fällen, bei denen flexible metallische Rohre mit den zugehörigen metallischen Verschraubungen eingesetzt werden.

6.3.3 Montage der Temperaturüberwachung und der Anschlusskästen

Sind die Installationsorte der Anschlusskästen von allfälligen Wänden entfernt oder ist ein Anbringen ungünstig, können diese bei niedrigen Rohrleitungstemperaturen direkt mit Rohrbriden am zu beheizenden Rohr befestigt werden. Durch die Distanzierung über die Isolation hinaus und die verhältnismässig kleinen Blechquerschnitte kann die Wärmeleitung vernachlässigt werden.

Bei Hochtemperaturanwendungen sind sämtliche Wärmeverluste von Bedeutung. Deshalb sind sämtliche Wärmebrücken zu vermeiden.

Si, au lieu de boîte en polyester, on applique des coffrets en aluminium, on prévoira le raccordement d'un conducteur d'équipotentialité. Pour le raccordement de thermomètres à résistance Pt-100 alimentés en sécurité intrinsèque, les bornes devront, selon les prescriptions, être distantes de 50 mm des autres.

6.3.1 Barrières

Si les boîtes contiennent des bornes du mode de protection «sécurité augmentée Ex e» ou en «sécurité intrinsèque Ex i», elles devront être assurées contre les contacts directs provoqués par un outils ou un instrument de mesure. Les circuits en sécurité intrinsèque doivent pouvoir être vérifiés en tout temps au moyen d'instruments de mesure antidéflagrants.

6.3.2 Entrées de câble

On pourra, pour assurer l'indice de protection IP 54, faire usage de presse-étoupe normaux. On observera, ceci particulièrement dans les installations de pétrochimie, que les inserts d'étanchéité des presse-étoupe en caoutchouc nitrile sont quelquefois insuffisants du fait de l'agressivité de l'air ambiant. On fera dans ce cas usage d'inserts en Viton.

Les presse-étoupe métalliques peuvent être utilisés sans mise à terre dans les boîtes à bornes en plastique. Une mise à terre supplémentaire n'est exigée que lorsque des tubes métalliques flexibles avec presse-étoupe également métalliques sont appliqués.

6.3.3 Montage de la surveillance de température et des boîtes à bornes

Lorsque le local accueillant l'installation est fractionné par une éventuelle paroi ou si l'emplacement n'est pas favorable à la pose, le dispositif de surveillance et les boîtes à bornes pourront, par faible température, être fixés par des brides directement à la conduite à chauffer. Du fait de l'isolation et de l'épaisseur relativement faible de la tôle, la conduction de chaleur est négligeable.

En cas d'utilisation de températures élevées, toute perte de chaleur est importante. Il faut donc éviter tout pont thermique.

supplied intrinsically safely, remember to space the intrinsically safe terminals 50 mm away from the other terminals as required.

6.3.1 Terminal guards

If the junction boxes house terminals with «increased safety Ex e» protection and also ones rated «intrinsic safety Ex i», provide the former with guards to prevent inadvertent contact with tools and measuring instruments. Intrinsically safe circuits can be checked with explosion-proof measuring instruments at any time.

6.3.2 Cable entries

Ordinary cable fittings can be used to satisfy protection degree IP 54. Especially in chemical and petrochemical plants, however, nitrile rubber fitting seals may be unsatisfactory because of the aggressive ambient air. Viton seals should be used in such cases. Metal cable fittings may be used in plastic enclosures without additional earthing. But if flexible metal conduit is used together with metal fittings, special earthing is called for.



Abbildung / Figure 13

6.3.3 Installation of temperature monitors and junction boxes

If no walls are convenient for mounting junction boxes or if mounting is complicated, the boxes may be attached right to the heated pipe with clips, provided the pipe is operated at low temperatures. Because the box is mounted on top of the insulation and its walls are relatively thin, heat transfer is negligible.

But because all heat losses are significant in high-temperature applications, any such heat transfer points should be avoided.

7.1 Aufteilung in verschiedene Heizkreise

Für die Aufteilung eines Projekts in verschiedene Heizabschnitte ist es unbedingt erforderlich, den verfahrenstechnischen Ablauf zu kennen. Sehr oft werden einzelne Rohrleitungen (z.B. Entnahmeleitungen) nicht gleichzeitig mit den am Verfahren beteiligten Rohrleitungen betrieben. Zudem ist es auch möglich, dass einzelne Rohrleitungen mit Absperrorganen verfahrenstechnisch «abgetrennt» werden.

7.1.1 Unterschiedliche Rohrdurchmesser

Rohrleitungen, welche Querschnittsreduktionen aufweisen, sollten ebenfalls nie in einem Stück beheizt werden. Durch den unterschiedlichen Wärmeverlust verschiedener Rohre ist es nicht möglich, eine Temperaturstabilisierung mit einem Heizkreis und einer Temperaturregelung zu erreichen (Abbildung 14).

In diesem Fall sollen zwei voneinander unabhängige Heiz- und Regelkreise errichtet werden. Dies ist von um so grösserer Bedeutung, wenn eine hohe Temperaturgenauigkeit (geringe Temperaturabweichungen) erforderlich ist.

In Ausnahmefällen, bei denen die Temperaturgenauigkeit unbedeutend ist oder bei denen niedrige Betriebstemperaturen (z.B. Frostschutz) oder extrem kurze Leitungslängen angewandt werden, kann die Isolationsdicke für jeden Rohrdurchmesser angepasst werden. Das längste Rohrleitungsstück dient zur Berechnung des Wärmeverlustes bei vorgegebenem Durchmesser und vorgegebener Isolationsstärke. Anschliessend wird mit der errechneten Heizleistung für die anderen Rohrdurchmesser die notwendige Isolationsstärke berechnet.

7.1 Répartition en plusieurs circuits calorifiques

Pour la répartition d'un projet en plusieurs sections de chauffage, il est absolument nécessaire de connaître le déroulement technique des procédés utilisés. Très souvent certaines conduites isolées (par ex. des conduites de prélèvement) ne sont pas mises en service en même temps que celles du reste de l'objet. De plus, il est possible de «séparer» certaines conduites au moyen d'éléments de blocage.

7.1.1 Tubes de section variable

Les conduites présentant des réductions de section ne devraient, elles non plus, pas être chauffées d'une pièce. Du fait de la variabilité de pertes de chaleur des différentes sections, il n'est pas possible de stabiliser la température au moyen d'un seul circuit thermique et d'une seule régulation (figure 14).

Il y a lieu dans un tel cas d'installer deux circuits thermiques et de régulation indépendants l'un de l'autre. Ceci est d'autant plus important que l'exigence quant à la précision de la température est élevée (plus faibles variations de la température).

Dans certains cas exceptionnels où cette exactitude est sans grande importance, ou que la température de service est faible (p. ex. protection contre le gel) et que les conduites utilisées sont courtes, l'épaisseur de l'isolation peut être adaptée à chaque section de tuyau. Le plus long tronçon de tube servira alors au calcul de la perte calorifique pour la section et l'épaisseur d'isolation données. Ensuite l'épaisseur d'isolation nécessaire sera calculée pour les autres sections de la conduite.

7.1 Heating circuit divisions

Detailed knowledge of the process is essential for dividing a given project into individual heating circuits. Frequently certain pipes (such as discharge pipes) are not operated simultaneously with the actual process piping. And it is possible that certain pipe runs may be «isolated» with cut-off devices as part of the process.

7.1.1 Different pipe diameters

Pipe runs containing cross-section reductions should never be heated as a unit. The different cross-sections have unlike heat losses, which makes it impossible to achieve temperature stabilization or effective temperature control with a single heating circuit (Figure 14). In such cases it is necessary to use two independent heating and control circuits. This is doubly important where temperatures have to be controlled with high accuracy.

In exceptional cases – where temperature accuracy is of little importance, operating temperatures are low (e.g. frost protection) or pipes are extremely short – the insulation thickness may be adapted to each pipe diameter. First the heat loss is determined for the longest section of pipe (with the preestablished diameter and insulation thickness); the necessary heating capacity is then used to calculate the insulation thickness required for the other pipe diameter(s).

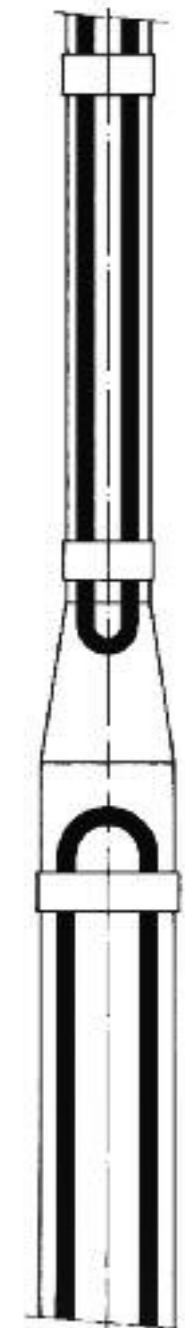


Abbildung / Figure 14

8. Montage der Wärmekabel an Rohrleitungen

8.1 Verlegung parallel zur Rohrleitung

Normalerweise werden Wärmekabel parallel zu den Rohrleitungen verlegt. Diese Verlegungsart gewährleistet jederzeit die Auswechselbarkeit von einzelnen Rohrleitungsstücken sowie Armaturen. In diesem Fall müssen die Isolation und das Wärmekabel nur örtlich entfernt werden, damit die Unterhaltsarbeiten ausgeführt werden können. Bei spiralförmiger Installation des Wärmekabels müssen die Isolation und das Wärmekabel auf der ganzen Rohrleitungslänge entfernt werden.

8.1.1 3-fach parallel verlegte Wärmekabel

3-fach parallel verlegte Wärmekabel in Sternschaltung haben den grossen Vorteil, dass im Störfall, d.h. bei Ausfall eines der drei Wärmekabel, mit einer Heizleistung von 50% der installierten Leistung weiter gearbeitet werden kann. Sieht man von den wenigen Tagen mit extrem tiefen Temperaturen ab, kann ein Notbetrieb über einige Tage hinweghelfen.

8.1.2 Wärmeübergang bei mineralisierten Wärmekabeln

Bei der Installation von mineralisierten Wärmekabeln mit höheren spezifischen Leistungen (Temperaturklasse T3 bereits ab ca. 30 Watt pro Meter) sollte Wärmeleitzement zur Vergrößerung der Übertragungsfläche aufgetragen werden. Damit kann der Wärmeübergang verbessert und die maximale Oberflächentemperatur bezüglich Explosionsschutz gewährleistet werden.

8.2 Spiralförmige Verlegung des Wärmekabels

Die spiralförmige Verlegung (Abbildung 17) von Wärmekabeln soll sparsam angewandt werden, da die Unterhaltsarbeiten, wie sie in der Praxis zu erfolgen haben, eindeutig behindert werden. Trotzdem sind Ausnahmefälle jederzeit möglich. Soll eine Kunststoffleitung gleichmässig beheizt werden, kann man durch das Aufbringen einer unteren und einer oberen Lage Aluminiumfolie eine Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit erreichen. In diesem Fall kann eine zusätzliche Verbesserung durch die spiralförmige Verlegungsart erreicht werden. Ein anderer Sonderfall liegt dann vor, wenn hohe spezifische Oberflächen-

8. Montage des câbles chauffants sur des conduites

8.1 Pose parallèle à la conduite

Les câbles chauffants sont normalement posés parallèlement aux conduites. Ce type de pose offre la possibilité de remplacer isolément les différentes parties des conduites ainsi que les armatures. Il suffit, le cas échéant, d'enlever l'isolation et le câble chauffant à l'endroit voulu afin de pouvoir exécuter les travaux d'entretien nécessaires. En revanche, dans les installations de câbles chauffants en spirale, l'isolation et le câble chauffant doivent être enlevés sur toute la longueur de la conduite.

8.1.1 Pose de câbles chauffants en triple parallèle

Les câbles chauffants posés en triple parallèle et connectés en étoile ont le grand avantage qu'en cas de perturbation, c.-à-d. lors de défaillance de l'un des câbles, il soit possible de poursuivre le travail avec 50 % de la puissance calorifique installée. Sauf durant les brèves périodes de froid extrême, un régime de secours peut suffire durant quelques jours.

8.1.2 Transfert de chaleur des câbles avec isolement minéral

Lors de l'installation de câbles chauffants sous isolant minéral et haut rendement spécifique (classe de température T3 dès env. 30 watts/mètre déjà), il est recommandé d'utiliser du ciment à conductivité thermique afin d'augmenter la température de surface. Ainsi, le transfert de chaleur peut être amélioré et la température maximale de surface en relation avec la protection antidéflagrante pourra être acquise.

8.2 Pose du câble chauffant en spirale

La pose en spirale (Figure 17) des câbles chauffants ne devrait être pratiquée que rarement, celle-ci rendant plus difficiles les travaux d'entretien usuels. Des exceptions sont pourtant possibles. Lorsque, par exemple, une conduite en matière plastique doit être chauffée régulièrement, on peut obtenir une amélioration de la conductibilité thermique par l'adjonction d'une couche inférieure et d'une couche supérieure sous feuille d'aluminium. Dans ce cas-là, la pose en spirale apporte une amélioration supplémentaire. Une autre exception réside dans les cas de charges spécifiques élevées (watt/cm²) à la surface de la conduite. Du fait

8. Installation of the heating cables on piping

8.1 Laying cable parallel to pipe

Normally heating cables are laid parallel to the pipes. This makes it possible to replace individual pieces of pipe and valves or fittings without difficulty. The insulation and heating cable can merely be removed locally to carry out the maintenance work. If the heating cable is wound spirally around the pipe, the insulation and heating cable have to be removed along the entire length of the pipe.

8.1.1 Threefold heating cables laid parallel

Threefold heating cables laid parallel to the pipe with a star connection have the important advantage that operations can continue at 50% of the installed heating capacity should one of the three heating cables fail. Except for the few days of the year with extremely low temperatures, makeshift operation at reduced heating power will normally be sufficient for a day or two until the trouble is repaired.

8.1.2 Heat transfer in the case of mineral-insulated heating cables

When installing mineral-insulated heating cables with relatively high power ratings per unit length (temperature class T3 starting at about 30 watts per meter), apply thermally conductive cement to increase the heat transfer area. By improving heat transfer, this makes it possible to maintain the maximum surface temperature for explosion protection.

8.2 Spirally wound heating cables

Heating cables should be wound spirally (Figure 17) only in exceptional cases, because they clearly represent an obstacle to efficient maintenance work. But such exceptions do exist. If one wishes to heat a plastic pipe uniformly, aluminium foil can be applied underneath and on top of the heating cable to enhance thermal conductivity. The conductivity is improved even more by winding the heating cable spirally. Another exception is the case where high power is required per unit of pipe surface area (watts/cm²). Spiral laying is necessary here to keep from exceeding the maximum admissible loading of the heating cable. Because these

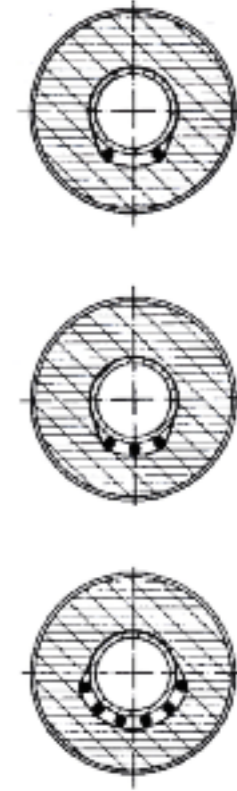


Abbildung / Figure 15

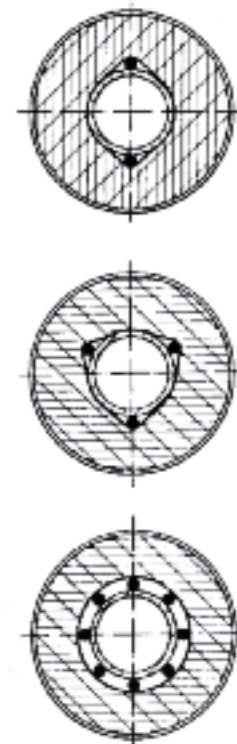


Abbildung / Figure 16

belastungen (Watt/cm²) bezüglich der Rohroberfläche installiert werden müssen. Die spiralförmige Montage ergibt sich dann dadurch, dass die maximal zulässige Belastung des Wärmekabels nicht überschritten werden darf. In diesen Fällen sind meistens kurze Rohrstücke vorhanden, so dass die Erschwernisse bei den Unterhaltsarbeiten nicht in demselben Masse ins Gewicht fallen wie bei langen Leitungen.

8.3 Verlegung bei Flanschen

Wegen der grösseren Masse von Flanschen sollen diese mit einer zusätzlichen Schlaufe unterschiedlicher Länge entsprechend der Anwendungstemperatur beheizt werden (Abbildung 18). Die Schlaufe wird wie das Wärmekabel am Rohr mit einem wärmebeständigen Klebeband befestigt. Dieses kann bei Unterhaltsarbeiten oder bei der Auswechslung einzelner Rohrabchnitte jederzeit gelöst und später wieder befestigt werden.

Rohrdurchmesser		Verlegungsart	
DN	mm	u-förmig [m]	3-fach parallel [m]
DN 15	21,3 mm	2 · 0,25	3 · 0,19
DN 20	26,9 mm	2 · 0,29	3 · 0,22
DN 25	33,7 mm	2 · 0,32	3 · 0,24
DN 32	42,4 mm	2 · 0,38	3 · 0,28
DN 40	48,3 mm	2 · 0,41	3 · 0,30
DN 50	60,3 mm	2 · 0,45	3 · 0,33
DN 65	76,1 mm	2 · 0,49	3 · 0,36
DN 80	88,9 mm	2 · 0,52	3 · 0,38
DN 100	114,3 mm	2 · 0,56	3 · 0,41
DN 125	139,7 mm	2 · 0,63	3 · 0,45
DN 150	168,3 mm	2 · 0,70	3 · 0,51

Auch bei geringen Temperaturen und bei Anwendungen im Frostschutzbereich darf nicht auf entsprechend kleine Schlaufen verzichtet werden.

8.4 Verlegung bei Armaturen und Ventilen

In Bezug auf die Verlegung bei Armaturen und Ventilen ist darauf zu achten, dass das Wärmekabel nicht als überlappende Schlaufe montiert wird, obwohl es selbstbegrenzende Wärmekabel gibt, bei denen die Überlappung und die gegenseitige Berührung keine Schäden verursachen. Vom sicherheitstechnischen Aspekt her kann bezüglich Übertemperaturen beim selbst-

que la charge maximale admise pour le câble chauffant ne doit pas être outrepassée, une pose en spirale s'avère préférable. Dans ces cas, on est généralement confronté à de courts tronçons de conduites et les inconvénients lors des travaux d'entretien se révèlent moindre que pour une conduite composées de tronçons longs.

8.3 Pose près des flasques

En raison de la dimension assez élevée des flasques, ces dernières doivent être chauffées au moyen d'une boucle supplémentaire dont la longueur différera selon les températures d'application (figure 18). Cette boucle sera fixée à la conduite comme le câble chauffant au moyen d'un ruban adhésif résistant à la chaleur. Elle pourra ainsi être détachée en tout temps pour les travaux d'entretien ou lors du remplacement d'un tronçon de conduite, puis être refixée de la même manière.

Diamètre du tube		Type de pose	
DN	mm	en U [m]	en triple parallèle [m]
DN 15	21,3 mm	2 · 0,25	3 · 0,19
DN 20	26,9 mm	2 · 0,29	3 · 0,22
DN 25	33,7 mm	2 · 0,32	3 · 0,24
DN 32	42,4 mm	2 · 0,38	3 · 0,28
DN 40	48,3 mm	2 · 0,41	3 · 0,30
DN 50	60,3 mm	2 · 0,45	3 · 0,33
DN 65	76,1 mm	2 · 0,49	3 · 0,36
DN 80	88,9 mm	2 · 0,52	3 · 0,38
DN 100	114,3 mm	2 · 0,56	3 · 0,41
DN 125	139,7 mm	2 · 0,63	3 · 0,45
DN 150	168,3 mm	2 · 0,70	3 · 0,51

Egalement dans les cas de basse température et d'utilisation comme protection contre le gel, on ne peut renoncer aux boucles (de petite taille correspondante).

8.4 Pose à proximité des armatures et des valves

Lors de la pose dans la proximité d'armatures et de valves, il faut veiller à ce que le câble chauffant ne soit pas monté en boucle couvrante, et cela malgré qu'il existe des câbles chauffants autolimités pour lesquels un recouvrement et un point de contact réciproques ne provoquent aucun dommage. Du point de vue

cases usually involve short sections of pipe, the obstacle to maintenance work is less important than in cases involving long pipe runs.



Abbildung / Figure 17

8.3 Cable laying at flanges

Because flanges have more mass, they should be heated with an extra loop whose length is varied to suit the particular application (Figure 18). Like the heating cable on the pipe, the loop is fastened with heat-resistant adhesive tape. For servicing chores or replacement of a short section of pipe, the tape can easily be removed and then refastened afterward.

DN	Pipe diameter		Laying system	
	mm	U-shape [m]	threefold parallel [m]	
DN 15	21.3 mm	2 · 0.25	3 · 0.19	
DN 20	26.9 mm	2 · 0.29	3 · 0.22	
DN 25	33.7 mm	2 · 0.32	3 · 0.24	
DN 32	42.4 mm	2 · 0.38	3 · 0.28	
DN 40	48.3 mm	2 · 0.41	3 · 0.30	
DN 50	60.3 mm	2 · 0.45	3 · 0.33	
DN 65	76.1 mm	2 · 0.49	3 · 0.36	
DN 80	88.9 mm	2 · 0.52	3 · 0.38	
DN 100	114.3 mm	2 · 0.56	3 · 0.41	
DN 125	139.7 mm	2 · 0.63	3 · 0.45	
DN 150	168.3 mm	2 · 0.70	3 · 0.51	

Suitably small loops are required even in low-temperature and frost protection applications.

8.4 Laying cables at valves and piping accessories

At valves and piping accessories, cables should not be installed in overlapping loops. This applies even to those self-limiting heating cables that suffer no damage from overlapping or mutual contact. Even though overlapping raises no danger of excessive temperatures in the case of self-limiting heating cables, valves

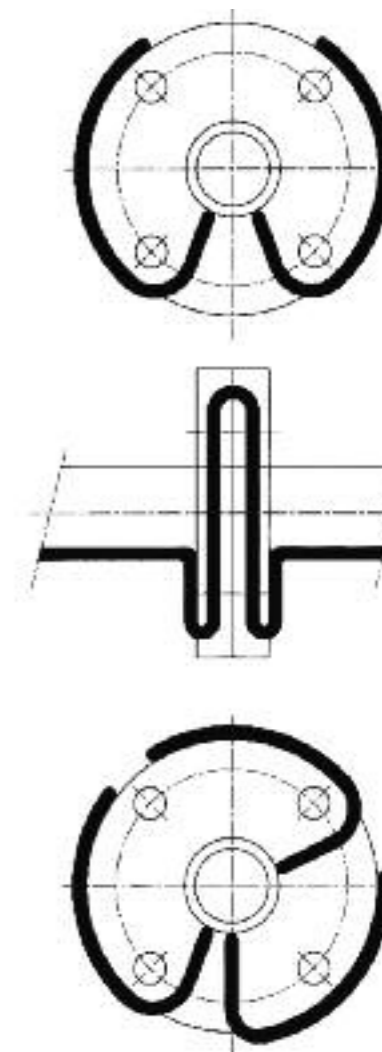


Abbildung / Figure 18

40 | begrenzenden Wärmekabel kein Einwand erhoben werden; eine einfache Auswechslung dieser Armaturen ist jedoch überhaupt nicht mehr gewährleistet.

Um die nötige Heizleistung auf die Armaturen zu übertragen, wird eine Schlaufe um die Armatur gelegt, welche jederzeit durch das Lösen der Befestigungsbänder ausgetauscht werden kann (Abbildung 19 und 20).

Rohrdurchmesser DN	mm	Zuschlag pro Ventil [m]
DN 15	21,3 mm	1,8
DN 20	26,9 mm	2,0
DN 25	33,7 mm	2,2
DN 32	42,4 mm	2,5
DN 40	48,3 mm	2,7
DN 50	60,3 mm	3,0
DN 65	76,1 mm	3,2
DN 80	88,9 mm	3,4
DN 100	114,3 mm	3,6
DN 125	139,7 mm	4,0
DN 150	168,3 mm	4,5

sécurité technique quant à la surtempérature, aucune objection ne peut être faite, mais un échange simplifié de l'armature ne peut plus être garanti.

Pour transmettre la capacité de chauffage nécessaire aux armatures, une boucle est aménagée autour de l'armature qui pourra en tout temps être remplacée en enlevant les rubans de fixation (figure 19 et 20).

Diamètre du tube DN	mm	Ajout par valve [m]
DN 15	21,3 mm	1,8
DN 20	26,9 mm	2,0
DN 25	33,7 mm	2,2
DN 32	42,4 mm	2,5
DN 40	48,3 mm	2,7
DN 50	60,3 mm	3,0
DN 65	76,1 mm	3,2
DN 80	88,9 mm	3,4
DN 100	114,3 mm	3,6
DN 125	139,7 mm	4,0
DN 150	168,3 mm	4,5

and accessories with overlapping loops are very difficult to service and replace.

To heat the piping accessories adequately, lay only one loop around them. To replace the accessory, just loosen the fastening tape (Figure 19 and 20).

Pipe diameter DN	mm	Additional length per valve [m]
DN 15	21.3 mm	1.8
DN 20	26.9 mm	2.0
DN 25	33.7 mm	2.2
DN 32	42.4 mm	2.5
DN 40	48.3 mm	2.7
DN 50	60.3 mm	3.0
DN 65	76.1 mm	3.2
DN 80	88.9 mm	3.4
DN 100	114.3 mm	3.6
DN 125	139.7 mm	4.0
DN 150	168.3 mm	4.5

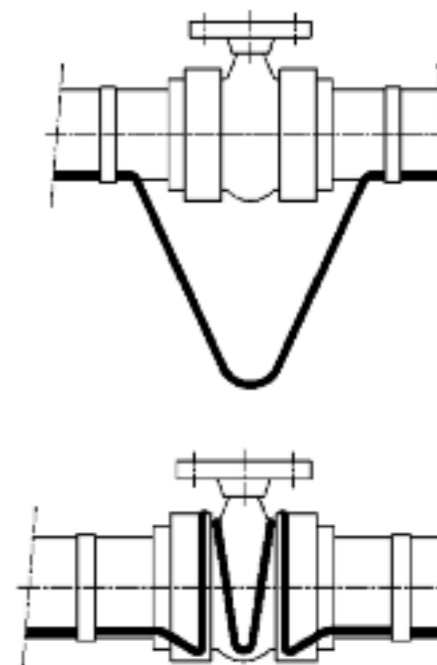


Abbildung / Figure 19

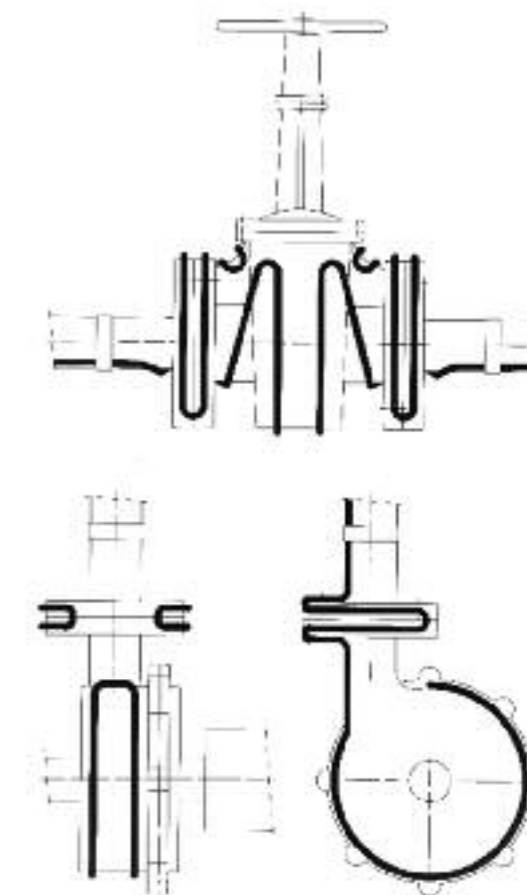


Abbildung / Figure 20

1. Einführung	2	1. Introduction	2
1.1 Allgemeines	2	1.1 Généralités	2
1.2 Die Gewährleistung des Explosionsschutzes	2	1.2 La protection antidéflagrante	2
2. Ermittlung von Wärmeverlusten	4	2. Dépistage des pertes calorifiques	4
2.1 Rohrbegleitheizungen zur Temperaturstabilisierung	4	2.1 Chauffage d'accompagnement de conduites pour la stabilisation de la température	4
2.2 Behälterbeheizungen zur Temperaturstabilisierung	10	2.2 Chauffages de conteneurs pour la stabilisation de la température	10
3. Ermittlung der Heizleistung (Temperaturerhöhung)	12	3. Définition de la puissance calorifique (augmentation de température)	12
4. Totale Heizleistung (Temperaturstabilisierung und -erhöhung)	14	4. Puissance calorifique totale (stabilisation et augmentation de la température)	14
4.1 Rohrbegleitheizungen	14	4.1 Chauffage d'accompagnement de conduites	14
4.2 Behälterbeheizungen	14	4.2 Chauffage de conteneurs	14
5. Betriebsbedingungen	16	5. Conditions de service	16
5.1 Heizleistung zur Temperaturstabilisierung	16	5.1 Puissance calorifique pour la stabilisation de la température	16
5.2 Heizleistung zur Temperaturstabilisierung und zum Vorwärmen der Rohre	16	5.2 Puissance calorifique pour la stabilisation de la température et l'échauffement de la conduite	16
5.3 Heizleistung zur Temperaturstabilisierung, zum Vorwärmen der Rohre und zum Aufheizen des Mediums	16	5.3 Puissance calorifique pour la stabilisation de la température et l'échauffement de la conduite et pour le chauffage du fluide	16
6. Wahl der Wärmekabeltypen, der Temperaturüberwachung und der Anschlusskästen	20	6. Choix du type de câbles chauffants, du contrôle de température et des coffrets de raccordement	20
6.1 Wahl der Wärmekabeltypen	20	6.1 Choix du type de câbles chauffants	20
6.2 Temperaturüberwachung	24	6.2 Surveillance de la température	24
6.3 Anschlusskästen	30	6.3 Boîtes à borne	30
7. Festlegung der Anzahl Heizkreise	34	7. Définition du nombre de circuits calorifiques	34
7.1 Aufteilung in verschiedene Heizkreise	34	7.1 Répartition en plusieurs circuits calorifiques	34
8. Montage der Wärmekabel an Rohrleitungen	36	8. Montage des câbles chauffants sur des conduites	36
8.1 Verlegung parallel zur Rohrleitung	36	8.1 Pose parallèle à la conduite	36
8.2 Spiralförmige Verlegung des Wärmekabels	36	8.2 Pose du câble chauffant en spirale	36
8.3 Verlegung bei Flanschen	38	8.3 Pose près des flasques	38
8.4 Verlegung bei Armaturen und Ventilen	38	8.4 Pose à proximité des armatures et des valves	38

1. Introduction	3
1.1 General points	3
1.2 Provision of explosion protection	3
2. Determination of heat losses	5
2.1 Pipe trace heating systems for temperature stabilization	5
2.2 Tank heating systems for temperature stabilization	11
3. Determination of heating capacity (temperature increase)	13
4. Total heating capacity (temperature stabilization and increase)	15
4.1 Pipe trace heating systems	15
4.2 Tank heating systems	15
5. Operating conditions	17
5.1 Heating capacity for temperature stabilization	17
5.2 Heating capacity for temperature stabilization and preheating the pipe	17
5.3 Heating capacity for temperature stabilization, preheating the pipe and heating the medium	17
6. Selection of heating cable types, temperature monitors and junction boxes	21
6.1 Selection of heating cable types	21
6.2 Temperature monitoring	25
6.3 Junction boxes	31
7. Establishing the number of heating circuits	35
7.1 Heating circuit divisions	35
8. Installation of the heating cables on piping	37
8.1 Laying cable parallel to pipe	37
8.2 Spirally wound heating cables	37
8.3 Cable laying at flanges	39
8.4 Laying cables at valves and piping accessories	39

Ihr Partner für international zertifizierte Lösungen im Explosionsschutz.

Entwicklung und Produktion

Explosionssgeschützte Energieverteilungs-,
Schalt- und Steuergerätekombinationen

Kategorie 2 G/D, Zündschutzarten

- Druckfeste Kapselung «d»
- Erhöhte Sicherheit «e»
- Überdruckkapselung «px»

Kategorie 3 G/D, Zündschutzarten

- Nicht-funkend «nA»
- Schwadenschutz «nR»
- Überdruckkapselung «pz»

Kategorien 2 D und 3 D

für staubexplosionssgeschützte Bereiche

- Schutz durch Gehäuse «tD»
- Schutz durch Überdruck «pD»

Zubehör

- Digital-Anzeigen
- Trennschaltverstärker
- Transmitterspeisegeräte
- Sicherheitsbarrieren
- Tastatur und Maus
- Bildschirm
- Industrie-PC

Leuchten

- tragbare Leuchten Kategorien 1, 2 und 3
- Hand- und Maschinenleuchten 6–58 Watt (Fluoreszenz und LED)
- Inspektionsleuchten Kategorie 1 (Zone 0)
- Langfeldleuchten 18–58 Watt (auch mit integrierter Notbeleuchtung)
- Strahler
- Sicherheitsbeleuchtung
- Blitzleuchten
- Kesselflanschleuchten

Elektrische Heizeinrichtungen
für Industrieanwendungen

- Luft- und Gaserwärmung (bis 200 bar)
- Flüssigkeitsbeheizung
- Reaktorbeheizungen (HT-Anlagen)
- Beheizung von Festkörpern
- Sonderlösungen

Rohr- und Tankbegleitheizungen

- Wärmekabel
 - Wärmekabel mit Festwiderstand
 - mineralisierte Wärmekabel
 - selbstbegrenzende Wärmekabel
- Montagen vor Ort
- Temperaturüberwachungen
 - Thermostate und Sicherheitstemperaturbegrenzer
 - elektronische Temperaturregler und Sicherheitsabschalter
 - Fernbedienungen zu Temperaturregler
- Widerstandsfühler Pt-100 Kategorie 1 G
- Widerstandsfühler Pt-100 Kategorie 2 G

Installationsmaterial

- Zeitweilige Ausgleichsverbindungen
- Erdungsüberwachungssystem
- Klemmen- und Abzweiggkästen
- Motorschutzschalter bis 63 A
- Sicherheitsschalter 10–180 A (für mittelbare und unmittelbare Abschaltung)
- Steckvorrichtungen
- Steckdosen für Reinräume
- Befehls- und Meldegeräte
- kundenspezifische Befehlsgeber
- Kabelrollen
- Kabelverschraubungen
- Montagmaterial

Akkreditierte Inspektionsstelle (SIS 145)

Um den ordnungsgemässen Betrieb und die Sicherheit zu gewährleisten, werden Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen besonders genau geprüft. Neben einer fachgerechten Erstprüfung bieten wir auch Ordnungsprüfungen und wiederkehrende Prüfungen im Betrieb an.

Service Facilities nach IECEx Scheme

Als IECEx Scheme Service Facility sind wir qualifiziert, weltweit Reparaturen, Überholungen und Regenerierungen durchzuführen – auch an Fremdgeräten.

Votre partenaire pour les solutions certifiées en protection antidéflagrante

Conception et production

Dispositifs antidéflagrants de distribution
d'énergie, de couplage et de commande

Catégorie 2 G/D, modes de protection

- enveloppe antidéflagrante «d»
- sécurité augmentée «e»
- enveloppe en surpression «px»

Catégorie 3 G/D, modes de protection

- anti-étincelles «nA»
- respiration limitée «nR»
- surpression interne «pz»

Catégories 2 D et 3 D

pour zones protégées contre les explosions de
poussière

- Protection par enveloppes «tD»
- Protection par surpression «pD»

Accessoires

- affichage (visuel) numérique
- amplificateurs de sectionneurs
- appareils d'alimentation d'émetteurs
- barrières de sécurité
- clavier et souris
- écran
- PC industriel (ordinateur industriel)

Luminaires

- baladeuses catégories 1, 2 et 3
- luminaires pour machines et baladeuses 6 à 58 watts (fluorescents et DEL)
- luminaires d'inspection catégorie 1 (zone 0)
- luminaires longitudinaux 18 à 58 watts (aussi avec éclairage de secours intégré)
- projecteurs
- éclairage de secours
- lampes éclair
- luminaires à bride pour chaudières

Chauffages électriques pour applications
industrielles

- chauffages de l'air et de gaz (jusqu'à 200 bars)
- chauffages de liquides
- chauffages à réacteur (thermostables)
- chauffages de corps solides
- solutions spécifiques

Chauffages de conduites et de citernes

- câbles thermoconducteurs
 - câbles chauffants à résistance fixe
 - câbles chauffants à isolation minérale
 - câbles chauffants autolimités
- montage sur site
- contrôle de température
 - thermostats et limiteurs de température de sécurité
 - thermorégulateurs électroniques et rupteurs de sécurité
 - télécommandes de thermorégulateur
- capteurs à résistance Pt-100 catégorie 1 G
- capteurs à résistance Pt-100 catégorie 2 G

Matériel de montage et d'installation

- Liason temporaire
- Dispositif de contrôle de la mise à la terre
- boîtes à bornes et de jonction
- disjoncteurs-protecteurs jusqu'à 63 A
- interrupteurs de sécurité 10 à 180 A (pour coupure directe ou indirecte)
- connecteurs
- prises de courant pour salles propres
- appareils de commande
- postes de commande selon spécifications client
- dévidoirs de câble
- presse-étoupe
- matériel de montage

Organes d'inspection accrédités (SIS 145)

Dans le but d'assurer une exploitation correcte et la sécurité, les installations en atmosphère explosive sont inspectées de manière particulièrement fouillée. En plus d'un premier examen, nous proposons également des inspections de routine et des vérifications périodiques in situ.

Service clients selon le modèle IECEx

Par notre service clients certifié selon le modèle IECEx nous sommes qualifiés pour procéder dans le monde entier aux réparations, révisions et remises en état des équipements – même ceux d'autres fabricants.

Your partner for internationally

certified solutions

in explosion protection

Design and Production

Explosionproof multipurpose distribution, switching and control units

Category 2 G/D, protection types

- flameproof enclosure «d»
- increased safety «e»
- pressurized enclosure «px»

Category 3 G/D, protection types

- non-sparking «nA»
- restricted breathing enclosure «nR»
- pressurized enclosure «pz»

Categories 2 D and 3 D
for areas at risk of dust explosions

- protection by enclosure «tD»
- type of protection «pD»

Accessories

- digital displays
- disconnect amplifiers
- transmitter power packs
- safety barriers
- keyboard and mouse
- monitor
- industrial PC

Lamps

- portable lamps, Categories 1, 2 and 3
- hand-held and machine lamps 6 to 58 W (fluorescent and LED)
- inspection lamps Category 1 (Zone 0)
- fluorescent light fixtures 18 to 58 W (also with integrated emergency lighting)
- reflector lamps
- safety lighting
- flashing lamps
- boiler flange lamps

Electric heaters for industrial applications

- heating of air and gases (up to 200 bar)
- heating of liquids
- reactor heating systems (HT installations)
- heating of solids
- special solutions

Pipe and tank trace heating systems

- heating cables
 - heating cables with fixed resistors
 - mineral-insulated heating cables
 - self-limiting heating cables
 - site installation
 - temperature monitoring systems
 - thermostats and safety temperature limiters
 - electronic temperature controllers and safety cutouts
 - remote controls for temperature controller
 - resistance temperature detectors Pt-100
- Category 1 G
- resistance temperature detectors Pt-100
- Category 2 G

Installation material

- temporary bonding
- earth monitoring system
- terminals and junction boxes
- motor protecting switches up to 63 A
- safety switches 10 to 180 A (for indirect and direct tripping)
- plug-and-socket devices
- socket outlets for clean rooms
- control and indicating devices
- customized control stations
- cable reels
- cable glands
- fastening material

Accredited inspection body (SIS 145)

Extremely strict inspections are carried out to guarantee the correct operation and safety of installations in hazardous areas. In addition to professional initial inspections, we also carry out document and organisation checks and periodic inspections during operation.

Service Facilities according to IECEx Scheme

As an IECEx Scheme service facility we are qualified to carry out repairs, overhauling and regeneration work all over the world – even on equipment from other manufacturers.

thuba[®]
THE EXPLOSIONPROOFING COMPANY



thuba Ltd.
CH-4015 Basel

Phone	+41 61 307 80 00
Fax	+41 61 307 80 10
E-mail	headoffice@thuba.com
Homepage	www.thuba.com