

BERECHNUNGS- GRUNDLAGEN

für elektrische
Heizelemente
3.0



TÜRK+HILLINGER
THERMAL TECHNOLOGY

INHALT

3	1. GRUNDLAGEN DER ELEKTROWÄRME
3	1.1 Einführung
3	1.1.1 Wärme, Temperatur
3	1.1.2 Wärmeenergie und Wärmekapazität
4	1.1.3 Verfahren der Elektrowärme
4	1.2 Berechnungsgrundlagen
4	1.2.1 Ohmsches Gesetz
5	1.2.2 Spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit und Temperaturkoeffizient
5	1.2.3 Oberflächenbelastung
5	1.2.4 Schaltung der Heizelemente
5	1.2.4.1 Reihen und Parallelschaltung
6	1.2.4.2 Drehstromsystem - Stern- und Dreiecksschaltung
6	1.3 Prinzipien der Wärmeübertragung
6	1.3.1 Wärmeleitung
7	1.3.2 Konvektion
7	1.3.3 Strahlung
7	1.4 Grundtypen elektrischer Heizelemente
9	1.5 Elektrische Prüfungen von Heizelementen
10	1.6 Checkliste zur Auswahl von Heizelementen
10	2. BERECHNUNG DER WÄRMELEISTUNG
10	2.1 Wärme zur Temperaturerhöhung
11	2.2 Wärme zur Änderung des Aggregatzustandes
11	2.3 Wärmeverluste
12	2.4 Auslegung der Heizleistung
12	2.4.1 Anheizleistung
12	2.4.2 Dauerheizleistung
12	2.4.3 Bestimmung der Heizleistung
13	2.5 Stoffwertetabelle
14	3. BEISPIELE ZUR WÄRMEBERECHNUNG
14	3.1 Erwärmung eines festen Körpers
15	3.2 Erwärmung von Flüssigkeit mit Aggregatzustandsänderung
16	3.3 Erhalten einer bestimmten Temperatur
16	3.4 Erwärmung e. Körpers mit kleiner Masse u. großer Oberfläche
17	4. EIGENSCHAFTEN VERDICHTETER UND UNVERDICHTETER HEIZELEMENTE
17	4.1 Verdichtete und unverdichtete Heizelemente
17	4.2 Einfluß von Feuchtigkeit
18	4.3 Manteltemperatur und Mantelwerkstoff
19	4.4 Auswahl des verdichteten Heizelements
19	4.5 Verwendung in flüssigen und gasförmigen Medien
20	5. HOCHLEISTUNGSHHEIZPATRONE TYP HLP
20	5.1 Beschreibung und Besonderheiten
20	5.2 Bohrungsspiel und Passung
21	6. BETRIEB MIT TEMPERATURREGLERN
21	6.1 Stetige und unetetige Regler
22	6.2 Leistungssteller (Dimmer)
22	6.3 Lage des Temperaturfühlers
23	7. TEMPERATURSENSOREN
23	7.1 Mantelthermoelemente
23	7.2 Platinwiderstände - PT 100
23	7.3 Thermistoren
24	8. ALLGEMEINER HINWEIS

GRUNDLAGEN DER ELEKTROWÄRME

1. GRUNDLAGEN DER ELEKTROWÄRME

Elektrowärme entsteht durch die Umformung elektrischer Energie in Wärme. Elektrowärme findet in zahlreichen Anwendungen in Industrie und Haushalt ihr Einsatzgebiet. Die Lösung der Beheizungsaufgaben durch Elektrowärme stellt in vielen Fällen eine - im Vergleich zu anderen Erwärmungsformen - einfache und intelligente Lösung dar.

Ziel dieser Unterlage ist es, die Grundlagen der Elektrowärme zu vermitteln und dem Anwender (Entwickler, Konstrukteur, Techniker) einen Leitfaden an die Hand zu geben, um spezifische Erwärmungsaufgaben optimal zu lösen.

1.1 EINFÜHRUNG

1.1.1 Wärme, Temperatur

Wärme als eine Art von Energie - ist nichts anderes als ungeordnete Molekülbewegung. Sie ist ein Maß für die einem Körper innewohnende Energie. Meist wird elektrische Energie unmittelbar in Wärme umgewandelt.

Temperatur als Zustandsgröße - kennzeichnet den Wärmezustand eines Körpers. Sie ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie der Moleküle. Die Einheit der Temperatur ist das Kelvin, anhand ihrer wird sowohl die Temperatur als auch die Temperaturdifferenz angegeben. Bei 0 K (Kelvin) ruhen die Moleküle jedes Körpers und er besitzt keine Wärmeenergie mehr. Ein energieärmerer Zustand ist nicht möglich.

Im Alltag ist jedoch die Celsiusskala vertrauter. Ihr Nullpunkt wurde auf den Erstarrungspunkt von Wasser gelegt, da dieser Meßpunkt in der Praxis besonders leicht nachzuvollziehen ist.

1.1.2 Wärmeenergie und Wärmekapazität

Um einen Körper von der Temperatur T_1 auf T_2 zu erwärmen, muß man ihm Energie zuführen. Ein Rückgang der Temperatur bedeutet die Abgabe von Wärme. Aufgenommene und abgegebene Wärmeenergie werden häufig auch als Wärmemenge bezeichnet.

Die Wärmemenge ist beim gleichen Stoff der Temperaturänderung der Stoffmasse proportional. Wärmeaufnahme und -abgabe hängen außerdem von der Art des Stoffes ab. Werden verschiedene Stoffe gleicher Masse durch die gleiche Wärmemenge erwärmt, so kann man unterschiedliche Temperaturen feststellen.

Den Einfluß des Stoffes kann man durch eine Konstante, die spezifische Wärmekapazität c angeben. Sie hat die Einheit Wh/(kg.K) oder kJ/(kg.K) und gibt die Wärmemenge an die benötigt wird, um 1 kg des Stoffes um 1 K zu erwärmen.

Jeder Körper hat ein Speichervermögen für die Wärme. Die spezifische Wärmekapazität ist auch maßgebend für das Wärmespeichervermögen. Für Körper einer bestimmten Masse gibt man in der Regel die Wärmekapazität C an. Sie ist gleich der Wärmemenge bei der Temperaturänderung 1 K und hat die Einheit Wh/K oder J/K.

UMRECHNUNGSFAKTOR °C IN °K

$$\vartheta = T - 273,15$$

ϑ = Temperatur in °C
T = Temperatur in °K

Wärmeenergie Q in [J]

$$Q = \Delta\vartheta \cdot c \cdot m$$

Wärmekapazität C in [Wh/K]

$$C = \frac{Q}{\Delta\vartheta} = c \cdot m$$

$\Delta\vartheta$ = Temperaturdifferenz $T_2 - T_1$
Q = Wärmemenge, Wärmeenergie
c = spezifische Wärme
m = Masse

Die zur Erwärmung erforderliche oder bei Abkühlung eines Körpers freiwerdende Wärme ist abhängig von:

- der Temperaturänderung ΔT ,
- der spezifischen Wärmekapazität des Stoffes c
- der Masse m

GRUNDLAGEN DER ELEKTROWÄRME

1.1.3 Verfahren der Elektrowärme

Zur Umwandlung elektrischer Energie in Wärme gibt es verschiedene Verfahren.

Lichtbogenerwärmung

Hier wird im Lichtbogen erzeugte Wärme auf das Objekt übertragen.

Beispiel: Lichtbogenschweißen.

Induktionserwärmung

Ein magnetisches Wechselfeld induziert in dem zu erwärmenden Gut Wirbelströme, die dann Wärme erzeugen.

Beispiel: induktives Schmelzen oder Härten

Dielektrische Erwärmung

Ein elektrisches Wechselfeld erzeugt in dem zu erwärmenden Gut Wirbelströme, die das Gut erwärmen.

Beispiel: Mikrowelle

Widerstandserwärmung

Das einfachste und in der Praxis gängigste Verfahren ist die Widerstandserwärmung. Es lassen sich hierbei die direkte und die indirekte Widerstandserwärmung unterscheiden.

Bei der **direkten Widerstandserwärmung** wird der elektrische Strom durch das aufzuheizende Objekt selbst geleitet und erzeugt dort die benötigte Wärme.

Beispiel: Widerstandsschweißen

Bei der **indirekten Widerstandserwärmung** erzeugt der elektrische Strom in einem Heizleiter Wärme, die durch Wärmeübertragung (siehe 1.3) auf das zu beheizende Objekt übertragen wird.

Beispiel: Glühofen, Infrarothheizung.

Von wenigen Ausnahmen abgesehen, wird für die Lösung der Beheizungsaufgaben die indirekte Widerstandserwärmung am häufigsten eingesetzt.

Bei der Widerstandserwärmung erfolgt die Umformung der elektrischen Energie in Wärme im Heizleiter. An diesen werden die folgenden, sehr hohen Anforderungen gestellt:

- hoher spezifischer Widerstand
- kleiner Temperaturbeiwert (Temperaturkoeffizient) des elektrischen Widerstandes
- hohe Betriebstemperatur bei langer Lebensdauer
- Beständigkeit gegen Auflagematerial und Einbettmassen
- große mechanische Festigkeit bei hohen Temperaturen
- gute chemische Beständigkeit gegen umgebende Atmosphäre
- gute Korrosions- und Zunderbeständigkeit
- geringe Wärmeausdehnung

LEISTUNG P in Watt [W]

$$P = \frac{U \cdot I}{U^2/R} = I^2 \cdot R$$

SPANNUNG U in Volt [V]

$$U = \frac{I \cdot R}{P/I} = \sqrt{P \cdot R}$$

STROM I in Ampère [A]

$$I = \frac{U/R}{\sqrt{P/R}} = \frac{P}{U}$$

WIDERSTAND R in Ohm [Ω]

$$R = \frac{U/I}{P/I^2} = \frac{U^2}{P}$$

1.2 BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

1.2.1 Ohmsches Gesetz

Grundlage für die Berechnung von elektrischen Heizelementen ist das Ohmsche Gesetz.

Mit Hilfe der Größen Spannung (U), Widerstand (R), Strom (I) und Leistung (P) werden elektrische Heizwiderstände festgelegt. Die nebenstehende Tabelle zeigt die Grundformeln. Diese Formeln gelten für Gleich- und Wechselspannung.

Bei Übersichtsrechnungen können die Widerstands-, Strom- und Leistungswerte für ca. 20°C eingesetzt werden. Bei höheren Temperaturen muß der Temperaturkoeffizient des Heizleiters berücksichtigt werden.

GRUNDLAGEN DER ELEKTROWÄRME

LEITFÄHIGKEIT

$$\text{Leitfähigkeit} = \frac{1}{\text{spezifischer Widerstand}}$$

TEMPERATURKOEFFIZIENT α in [1/K]

$$\Delta R \approx \alpha \cdot R_{20} \cdot \Delta \vartheta$$

$$R_{\vartheta} = R_{20} + \Delta R$$

$$R_{\vartheta} \approx R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

$$[\Delta R] = \frac{1}{K} \cdot \Omega \cdot K = \Omega$$

ΔR = Widerstandsänderung

R_{20} = Kaltwiderstand bei 20°C

R_{ϑ} = Warmwiderstand

α = Temperaturbeiwert bzw. -koeffizient in 1/K

$\Delta \vartheta$ = Temperaturänderung in K

OBERFLÄCHENBELASTUNG H in [W/cm²]

$$H = \frac{P}{A}$$

P = Leistung des Heizelementes in W

A = beheizte Ober- bzw. Mantelfläche des Heizelementes in cm²

REIHENSCHALTUNG

Gesamtwiderstand

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Gesamtleistung bei Spannung U

$$P_{\text{ges}} = \frac{U^2}{R_{\text{ges}}}$$

Stromstärke I

$$I = \frac{U}{R_{\text{ges}}}$$

PARALLELSCHALTUNG

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

1.2.2 Spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit und Temperaturkoeffizient

Der Widerstand eines Leiters hängt vom Werkstoff und von den Dimensionen des Körpers ab. Erstgenannter Faktor - der spezifische Widerstand - ist eine für das Material typische Konstante. Der spezifische Widerstand (Einheit $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$) ist der Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt.

Den Kehrwert des spezifischen Widerstands nennt man Leitfähigkeit γ_1 mit der Einheit $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$.

Temperaturkoeffizient

Bei Erwärmung schwingen die Atome stärker um ihren Platz im Kristallgitter, dadurch wird die Fortbewegung der freien Elektronen stärker behindert, d.h. der Widerstand nimmt zu.

Die Größe der Widerstandszunahme gibt man durch den Temperaturkoeffizienten (Temperaturbeiwert α) an. Der Temperaturkoeffizient gibt an, um wieviel Ohm der Widerstand von 1 Ω bei 1 K Temperaturerhöhung größer wird.

1.2.3 Oberflächenbelastung

Der wichtigste Kennwert für die Dimensionierung von elektrischen Heizelementen ist die Oberflächenbelastung oder flächenbezogene Leistung. Sie ist ein Maß für die Beanspruchung und Lebensdauer eines Heizelementes. Gerade bei Hochleistungsheizelementen hat die Oberflächenbelastung eine zentrale Bedeutung.

Die Oberflächenbelastung wird in Watt pro cm² angegeben. Sie kann nach der nebenstehenden Formel berechnet werden.

Unbeheizte Ober- bzw. Mantelflächen müssen zur Berechnung der Oberflächenbelastung von der Gesamtfläche abgezogen werden.

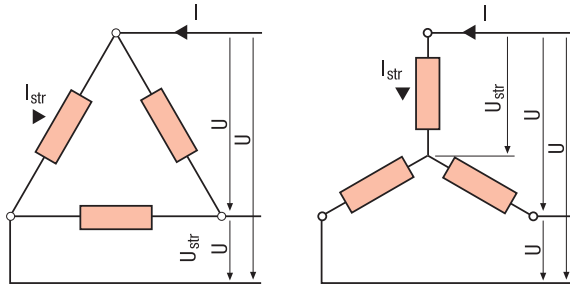
1.2.4 Schaltung der Heizelemente

Es gibt verschiedene Möglichkeiten Heizelemente miteinander zu verschalten. Die Art bestimmt die Höhe des Widerstandes und die Stromstärke.

1.2.4.1 Reihen und Parallelschaltung

Werden Heizelemente in Reihe- bzw. alternativ parallel verschaltet, so unterscheiden sie sich hinsichtlich Gesamtwiderstand, Gesamtleistung und Stromstärke wie nebenstehend.

GRUNDLAGEN DER ELEKTROWÄRME



DREIECKSSCHALTUNG

$$U = U_{\text{str}}$$

$$I = I_{\text{str}} \cdot \sqrt{3}$$

$$P_{\text{str}} = U_{\text{str}} \cdot I_{\text{str}}$$

$$P = 3 \cdot P_{\text{str}}$$

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

U = Aussenleiterspannung
 U_{str} = Strangspannung
 I = Aussenleiterstrom

STERNSCHALTUNG

$$U = U_{\text{str}} \cdot \sqrt{3}$$

$$I = I_{\text{str}}$$

$$P_{\text{str}} = U_{\text{str}} \cdot I_{\text{str}}$$

$$P = 3 \cdot P_{\text{str}}$$

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

I_{str} = Strangstrom
 R_{str} = Strangwiderstand

1.2.4.2 Drehstromsystem

Stern- und Dreiecksschaltung

Um größere Leistungen zu übertragen werden gewöhnlich Drehstromsysteme mit einer Spannung von 400 V statt der Standardnetzspannung von 230 V eingesetzt.

Während bei der Standardnetzspannung eine sinusförmige Wechselspannung von 230 V generiert wird, ist das Drehstromsystem mit 400 V eine um 120° phasenverschobene induzierte Dreiphasenwechselspannung.

Im Drehstromsystem werden gewöhnlich zwei symmetrische Schaltungsarten sog. Stern- und Dreiecksschaltung verwendet.

Werden innerhalb des Drehstromsystems drei Heizelemente mit gleichem Widerstand angeschlossen, so gelten für die Ermittlung der Gesamtleistung die nebenstehenden Gleichungen:

1.3 PRINZIPIEN DER WÄRMEÜBERTRAGUNG

Wärmeübertragung tritt immer dann auf, wenn sich zwei Medien mit unterschiedlicher Temperatur gegenüberstehen. Wärmeübertragung erfolgt immer von Stellen höherer Temperatur zu Stellen niedriger Temperatur. Diese Wärmeströmung bezeichnet man als Wärmeübertragung.

Der Wärmeübertragung wird ein bestimmter Widerstand entgegengesetzt, den man thermischen Widerstand nennt. Bei technischen Berechnungen gilt es die Größe der Wärmemenge zu bestimmen, die je Zeiteinheit zwischen zwei Medien oder unterschiedlicher Phase (z.B. flüssig, gasförmig, fest) mit verschiedenen Temperaturen übertragen wird, wenn beide Medien voneinander getrennt sind.

Die Wärmeübertragung kann im wesentlichen durch drei Arten erfolgen. Obwohl diese i.d.R. meist gleichzeitig vorkommen, treten sie jedoch je nach Heizelement in unterschiedlicher Weise mehr oder weniger stark hervor.

1.3.1 Wärmeleitung

Bei der Wärmeleitung erfolgt der Transport der Wärme in festen, flüssigen und gasförmigen Medien unter dem Einfluß einer Temperaturdifferenz. Die Energie wird im Molekülverband durch Schwingungen übertragen, es besteht ein physikalischer Kontakt. Der Wärmetransport erfolgt in Richtung abnehmender Temperatur und ist um so stärker, je größer die Temperaturdifferenz sowie eine als Wärmeleitfähigkeit bzw. Wärmeleitzahl bezeichnete Stoffgröße ist. Auch die Geschwindigkeit der Ausbreitung hängt von der Wärmeleitfähigkeit ab.

1.3.2 Konvektion

Bei der Wärme konvektion erfolgt der Wärmetransport durch Gas oder Flüssigkeitsströmungen, die durch örtliche Erwärmung bzw. Temperaturunterschiede hervorgerufen werden. Das heißt, die Bewegungsenergie der Gasmoleküle wird erhöht. Es findet ein molarer Energietransport statt.

INTENSITÄT DER WÄRMESTRAHLUNG M (W/m^2)

$$M = \varepsilon (T^4 - T_0^4)$$

ε = Const. = $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$
 T = Temp. der strahlenden Fläche
 T_0 = Umgebungstemperatur (K)

1.3.3 Strahlung

Wärmestrahlung ist die Energieübertragung durch elektromagnetische Wellen. Diese können von verschiedener Frequenz bzw. Wellenlänge sein. Jeder warme Körper sendet elektromagnetische Strahlen oder Wellen aus, die dem infraroten Teil des Spektrums angehören, also relativ große Wellenlängen haben. Üblicherweise nennt man Wärmestrahlen jene, deren Wellenlänge zwischen $\lambda = 0,8-400 \mu m$ liegt. Das Licht im sichtbaren Bereich von $0,35$ bis $0,75 \mu m$ stellt die untere Grenze dar.

Bei hohen Temperaturen wird die Strahlung sichtbar und ihre Energie steigt stark an, aber auch bei niedrigen Temperaturen ist sie von Bedeutung. Die Strahlen, die auf einen Körper fallen, werden von diesem entweder reflektiert, absorbiert oder durchgelassen. Körper die viel Strahlung absorbieren können (z.B. schwarze Flächen), geben auch viel Strahlung wieder ab und umgekehrt.

Im luftleeren Raum findet Wärmeübertragung nur durch Strahlung statt.

1.4 GRUNTYPEN ELEKTRISCHER HEIZELEMENTE

Es gibt eine Vielzahl elektrischer Heizelemente. Die nachfolgende Auflistung soll die in der Praxis vorherrschenden Grundtypen beschreiben und einen groben Überblick vermitteln.

Rohrheizkörper

Rohrheizkörper sind elektrische Heizelemente mit dem breitesten Einsatzgebiet. In einem stromdurchflossenen Heizleiter wird die Wärme erzeugt. Der Heizleiter liegt zentrisch in einer hochverdichteten Magnesiumoxid-Schicht eingebettet. Dadurch wird eine hohe elektrische Isolierung und eine gute Wärmeleitung erreicht. RHK haben einen kreisrunden Querschnitt und werden in Abmessungen von $\varnothing 5$, $\varnothing 6,5$, $\varnothing 8,5$ und $\varnothing 16$ von T+H hergestellt.

RHK besitzen eine hohe Biegefestigkeit und können für die Erwärmung von flüssigen, gasförmigen und festen Stoffen eingesetzt werden. Je nach Anwendungsgebiet werden verschiedene Werkstoffe, meist hochwertige Chrom-Nickel-Stähle als Mantelwerkstoff verwendet.

Anwendungsgebiete: Vielzahl von Anwendungen in Industrie und Haushalt

Hochleistungsheizpatronen

Hochleistungsheizpatronen sind edelstahlummantelte Heizelemente mit kreisrundem Querschnitt, die sich durch hohe Oberflächenbelastung, bei kleinstem Einbauraum und daraus resultierenden hohen Betriebstemperaturen bis zu $750^\circ C$ auszeichnen. Trägermaterial ist üblicherweise reines Magnesiumoxid (MgO). Vom Aufbau und der Oberflächenbelastung unterscheidet T+H hochverdichtete (HLP), leichtverdichtete (PMV) und unverdichtete Heizpatronen. Ausführliche Betrachtung erfolgt ab Seite 20.

Anwendungsgebiet: überall dort wo hohe Leistung auf kleinstem Raum gefordert ist

Rohrwendelpatronen

Rohrwendelpatronen sind massearme, hochverdichtete Heizelemente, mit denen bei geringem Platzbedarf eine sehr hohe Leistung untergebracht werden kann. Sie zeichnen sich durch eine hohe Formgebungsmöglichkeit aus.

Anwendungsgebiete: Beheizung von Spritzgießdüsen in der Kunststoffindustrie, Laborindustrie, allgemeiner Maschinenbau sowie überall dort wo bei geringem Platzbedarf eine hohe Leistung untergebracht werden muß

Heizregister

Heizregister sind Einrichtungen zur Erwärmung von gasförmigen Medien. Das zu erwärmende Medium wird dabei über einen offen liegenden Widerstandsdraht durch natürliche oder erzwungenen Konvektion geleitet.

Anwendungsgebiete: Wäschetrockner, Warmluftgebläse, Schrumpfkäufle, Konvektionsöfen und Heizlüfter

Heizpatronen ohne Metallmantel mit keramischem Trägerkörper

Keramische Patronen gehören zu den offenen Heizelementen. Der Aufbau dieser unverdichteten Patrone ist einfach. In einem Keramikmehrlöchrohr wird eine Heizleiterwendel eingezogen; es besteht keine weitere Ummantelung.

Anwendungsgebiete: Erhitzung gasförmiger Medien (z.B. Kunststoff-Schweißgeräte)

PTC-Heizelemente

PTC-Heizelemente bestehen aus dotierten polykristallinen Halbleiterteilen, die einen extrem positiven Verlauf des elektrischen Widerstandes haben. Steigt die Temperatur bis hin zu einer Bezugstemperatur, kommt es zu einem starken Anstieg des Widerstandes und somit zu einem Leistungsrückgang. PTC-Heizelemente vereinen Heizung und Regelung in einer Funktion. Die maximale Temperatur liegt bei 300°C. PTC-Heizelemente haben eine deutlich geringere Leistungsdichte als konventionelle Widerstandsheizlemente.

Anwendungsgebiete: Flüssigkeitserwärmung, Öl- und Kraftstoffvorwärmer, Frostschutzheizungen, Abtauheizungen

Silikon-Flachheizelemente

Silikon-Kautschuk-Heizelemente sind Heizelemente mit homogen eingebetteter Widerstandsheizung in Silikonkautschuk. Diese Heizelemente sind sehr flach, feuchtigkeitsdicht, formbar und können nur bei niedrigen Temperaturen bis ca. 180°C angewandt werden.

Anwendungsgebiete: überall dort wo niedrige Heiztemperaturen gegeben sind, z.B. Behälterbeheizung, Beheizung von Parabolspiegeln, Beheizung von Laborgeräten

Mikanit-Heizelemente

Mikanit Heizelemente sind Heizelemente mit Isolationsträger aus Mikanit (Glimmerwerkstoff). Mikanit-Heizelemente haben eine niedrige Oberflächenbelastung und sind nicht hoch belastbar.

Anwendungsgebiete: Luftherhitzung in Haushaltsgeräten, Flächenheizelemente im Industriebereich, Heizmanschetten in der Kunststoffindustrie

Keramikstrahler

Keramikstrahler sind Heizelemente bei denen der Widerstandsdraht mit Keramik ummantelt und gebrannt ist. Der Widerstandsdraht verzündert auch bei extremer Belastung nicht. Die Wärmeübertragung zum Medium erfolgt berührungslos über Strahlung.

Anwendungsgebiete: Trocknen, einbrennen oder aushärten von Pulverbeschichtungen, Lacken, o.ä.; Anwendungen im Lebensmittelbereich, Tiefziehen von Kunststoffen

Quarzrohrstrahler

Quarzrohrstrahler sind Heizelemente bei denen der Widerstandsdraht in einem Quarzglasrohr untergebracht ist. Diese auf dem Prinzip der Wärmestrahlung basierenden Heizelemente sind sehr bruchempfindlich.

Anwendungsgebiete: z.B. Heizstrahler

Hybridheizungen

Hybridheizungen sind Heizelemente auf Basis der Dickschichttechnik. Als Heizwiderstand (und ggf. Temperatursensor) werden Leiterbahnen in einem geeigneten Layout in konventioneller Dickschichttechnik auf Keramiksubstrate, oder emaillierte Stahlplatten aufgebracht. Hybridheizungen sind sehr flach und erlauben eine kompakte Bauweise.

Anwendungsgebiete: Medizintechnik, kompakte kommerzielle Anwendungen, Warmhalteplatten

1.5 ELEKTRISCHE PRÜFUNGEN VON HEIZELEMENTEN

Die einschlägige Norm für die Prüfung von elektrischen Heizelementen ist die VDE 0700 bzw. EN 60335. Im einzelnen sind dort unter anderem die Vorschriften für die elektrische Prüfung von Heizelementen vorgeschrieben. Unter anderem sind dies die Prüfung des Kaltwiderstandes, der Hochspannungsfestigkeit, des Ableitstroms und des Isolationswiderstandes.

Heizelemente bis 42 V haben einer Hochspannungsfestigkeitssprüfung bis 500 V, Heizelemente über 42 V einer Hochspannungsfestigkeitsprüfung bis 1250 V standzuhalten.

Der zulässige Ableitstrom beträgt bei Leistungen bis 1 kW $<0,75$ mA beziehungsweise 0,75 mA je kW insgesamt jedoch nicht höher als 5mA für das gesamte Gerät.

Die elektrischen Heizelemente müssen im kalten Zustand mindestens einen Isolationswiderstand von >2 M Ω aufweisen. Der Isolationswiderstand wird bei einer Gleichspannung von 500 V gemessen.

Die Hochspannungsfestigkeitsprüfung erfolgt beim Hersteller. Aus diesem Grunde ist es normalerweise nicht erforderlich diese Prüfung zu wiederholen, es sei denn

- am Heizelement wurden Veränderungen vorgenommen
- das Heizelement wurde über einen längeren Zeitraum gelagert
- am Heizelement wird ein Defekt vermutet
- das Heizelement wird in feuchter Umgebung betrieben und es besteht ein direkter Kontakt zu Personen oder Tieren

Wichtige Hinweise:

- Die Prüfung der Hochspannungsfestigkeit sollte nicht erfolgen sofern die Isolationswiderstands-Prüfung kein befriedigendes Ergebnis erbrachte.
- Die elektrischen Prüfungen der Heizelemente dürfen nur von geschultem Personal durchgeführt werden.
- Jede Hochspannungsprüfung schädigt das MgO-Gefüge und führt daher durch häufige Wiederholungen letztlich zu einem Herabsetzen der Hochspannungsfestigkeit und einer Schädigung des Heizelementes.

GRUNDLAGEN DER ELEKTROWÄRME

1.6 CHECKLISTE ZUR AUSWAHL VON HEIZELEMENTEN

Bei der Auswahl eines Heizelementes ist der Verwendungszweck ausschlaggebend. Abmessung, Leistung und Belastbarkeit hängen von verschiedenen Faktoren ab. Für die Auswahl hat sich in der Praxis die folgende Checkliste bewährt:

1. Verwendungszweck / Anwendung
2. zu erwärmendes Medium
3. Abmessungen bzw. Volumen des Mediums
4. Spannung
5. max. Strom
6. Leistungsbedarf ca.
7. Schaltung der Heizelemente
8. Art und Länge der Anschlüsse
9. benötigte Mengen
10. gewünschte Temperatur

BERECHNUNG DER WÄRMELEISTUNG

2. BERECHNUNG DER WÄRMELEISTUNG

Zur Ermittlung der benötigten Leistung eines Heizungssystems sind

- die **Dauerheizleistung** und
- die **Anheizleistung** zu ermitteln.

Die Auslegung der elektrischen Heizelemente basiert auf der höheren dieser beiden Leistungen. Darüber hinaus, sind die Dimensionen der beheizten Körper oder Flüssigkeiten und deren Wärmeisolierung zu berücksichtigen.

Liegen bei der Berechnung nicht alle Informationen im Detail vor, so sollte eine Verifizierung nach genauerer Kenntnis der Details erfolgen. Grundsätzlich sollte sich die Kalkulation am sog. **ungünstigsten Anwendungsfall** orientieren:

- minimale Umgebungstemperatur
- maximale Prozesstemperatur
- kürzestes Heizintervall
- maximale Größe der zu beheizenden Objekte (bzw. höchste Durchflußrate)
- kürzeste Aufheizzeit

2.1 WÄRME ZUR TEMPERATURERHÖHUNG

Die **Energie zur Temperaturerhöhung** jedes Mediums ist abhängig von vier Faktoren:

- Masse des Mediums (m)
- Temperaturdifferenz (ΔT)
- spezifische Wärme (c)
- Aufheizzeit (t)

LEISTUNG P in Watt [W]

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

m = Masse in kg

c = spezifische Wärme in Wh/kg K bitte
Seite 13 entnehmen

ΔT = Temperaturdifferenz in Kelvin (K)

Δt = Anheizzeit in Stunden (h)

BERECHNUNG DER WÄRMELEISTUNG

2.2 WÄRME ZUR ÄNDERUNG DES AGGREGATZUSTANDES

Bei der Überführung eines Mediums von einem Aggregatzustand in einen anderen (z.B. Flüssigkeit wird zu Dampf) erfolgt normalerweise keine Erhöhung der Temperatur des Mediums. Die Berechnung erfolgt gemäß obiger Formel, jedoch entfällt der Faktor ΔT .

Statt der spezifischen Wärmekapazität c muß die Änderung der spezifischen Wärme (Schmelz- bzw. Verdampfungswärme) bezogen auf den Aggregatzustand (in Wh/kg) eingesetzt werden. Bei der Erwärmung eines Mediums über mehrere Aggregatzustände muß die erforderliche Leistung in entsprechenden Stufen ermittelt werden.

2.3 WÄRMEVERLUSTE

Ein wichtiger Faktor bei der Berechnung sind die in der Praxis auftretenden Wärmeverluste. Wärmeverluste treten immer dann auf, wenn eine Temperaturdifferenz vorhanden ist. Die Wärme fließt vom warmen zum kalten Körper. Wärmeverluste können durch Wärmeleitung, -konvektion oder -strahlung auftreten.

Wärmeverluste bei Wärmeleitung

Sind Körper mit Teilen des Heizsystems in Berührung, dann treten Wärmeverluste durch Wärmeleitung auf. Um die Wärmeverluste zu bestimmen, werden die folgenden Angaben benötigt:

- die Fläche der Körper, die in Kontakt mit dem Heizsystem stehen A (in cm^2)
- die Stärke des Materials t (in cm)
- die Temperaturdifferenz in ΔT (in K) zwischen innerer und äußerer Fläche
- die Wärmeleitfähigkeit des Materials k (in $\text{W/cm} \cdot \text{K}$)

Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung

Sofern die Oberflächen nicht isoliert sind, wie z.B. bei offenen Behältern, sind Wärmeverluste durch Konvektion zu berücksichtigen. Auch Abstrahlung erzeugt Wärmeverluste.

Faktoren für Wärmeverluste sind:

- die Oberfläche in cm^2
- die Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Oberfläche
- die Oberflächenbeschaffenheit des Mediums

Richtwerte für Wärmeverluste

Die genaue Berechnung der Wärmeverluste unter Beachtung aller Faktoren ist sehr kompliziert. Sofern keine detaillierte Berechnung möglich ist können die nebenstehend genannten Erfahrungs- und Schätzwerte eingesetzt werden.

Bei großen zu beheizenden Flächen sollte die auf die Heizfläche bezogene Oberflächenbelastung so gewählt werden, daß eine ausreichende Beheizung erreicht wird.

ENERGIEVERLUSTE IN W

$$P_v = A \cdot \Delta T \cdot k/t$$

P_v = Verlustleistung

kleine Werkzeuge
oder Metallteile,
ohne Wärmeisolierung ca. 30% - 40%

kleine Werkzeuge
oder Metallteile,
mit Wärmeisolierung ca. 5% - 10%

große Werkzeuge
oder Metallteile,
ohne Wärmeisolierung ca. 15% - 25%

große Werkzeuge
oder Metallteile,
mit Wärmeisolierung ca. 5% - 10%

beheizte Wärmebäder,
je nach Größe ca. 20% - 30%

beheizte Wärmebäder,
mit Wärmeisolierung ca. 10% - 20%

BERECHNUNG DER WÄRMELEISTUNG

2.4 AUSLEGUNG DER HEIZLEISTUNG

2.4.1 Anheizleistung

Die Anheizleistung ist die Leistung, die in einer bestimmten Zeiteinheit benötigt wird, um das System auf die gewünschte Temperatur zu bringen. In der Anheizphase nehmen Wärmeverluste durch Wärmeleitung,- konvektion und -strahlung zu. Die Wärmeverluste in dieser Phase belaufen sich auf ca. 50% der bei Dauerheizleistung auftretenden Verluste.

2.4.2 Dauerheizleistung

Die Dauerheizleistung ist die Summe der Leistung, die im Prozeß benötigt wird und die innerhalb des laufenden Prozesses verloren geht. So ist beispielsweise in einem Durchlaufofen die Dauerheizleistung die Summe aus:

- Energie zur Erwärmung des Mediums
- Energie zur Erwärmung des Förderers und
- Energie, die vom Förderer in den Ofen abgegeben wird.

Diesem Energiebedarf für den laufenden Prozeß muß zusätzlich noch die Energie, die durch die bekannten Wärmeverluste verloren geht, hinzuaddiert werden.

2.4.3 Bestimmung der Heizleistung

Die nach der Formel der Leistungsberechnung ermittelte Leistung (P) -siehe S. 10- deckt den Wärmebedarf, der zum Anheizen eines Mediums erforderlich ist. In den meisten Anwendungsfällen genügt diese Anheizleistung, um den Wärmebedarf im Dauerbetrieb zu decken. Die Heizelemente werden deshalb der Anheizleistung entsprechend ausgelegt. Es wird empfohlen die ermittelte Leistung um einen Faktor von 10-20% zu erhöhen. Mit dieser Leistungsreserve kann in der Regel ein sicherer Prozeß gewährleistet werden. Auf jeden Fall ist jedoch der Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur, Oberflächenbelastung und Medium zu berücksichtigen.

Wenn die Anheizleistung wesentlich höher als die benötigte Dauerheizleistung ist,

muß die Dauerheizleistung durch entsprechende Schaltung einzelner Heizelemente oder durch eine Temperaturregelung reduziert werden. Bei geregelten Systemen sollte die Heizleistung möglichst nicht größer sein, als der doppelte Leistungsbedarf bei Dauerbetrieb.

Wird im Dauerbetrieb mehr Leistung benötigt als in der Anheizphase,

(z.B. bei sehr hohem Materialdurchsatz) müssen die Heizelemente für den Dauerleistungsbedarf ausgelegt werden. Die Dauerheizleistung kann ebenfalls nach der aufgeführten Gleichung ermittelt werden. Anstelle der Masse (m) und Aufheizzeit (Δt) wird in die Formel auf S. 10 die Durchsatzmenge in kg pro Stunde eingesetzt.

Die Auslegung der Leistung der Heizelemente erfolgt prinzipiell in drei Schritten:

1. Berechnung der Anheizleistung
2. Berechnung der Dauerheizleistung
3. Bestimmung der Heizleistung

DAUERHEIZLEISTUNG P_D in [W]

$$P_D = M_n \cdot c \cdot \Delta T$$

M_n =Durchsatzmenge in kg/h

Wichtiger Hinweis:

Bei der Bestimmung der Leistung der Heizelemente gilt es immer die Oberflächenbelastung und deren Grenzwerte zu beachten.

BERECHNUNG DER WÄRMELEISTUNG

2.5 STOFFWERTETABELLE

WERKSTOFFDATEN						
Medium	Dichte bei 291,16 K g/cm ³	Spez. Wärme c Wh/kg K	Schmelzpunkt °C	Schmelzwärme Wh/kg	Siedepunkt °C	Verdampfungswärme Wh/kg
Metalle						
Aluminium	2,7	0,249	660	99	2270	3256
Blei	11,3	0,036	327	6,6	1730	256
Kupfer	8,9	0,107	1083	58	2330	2,5
Messing	ca. 8,4 - 8,7	ca. 0,106	ca. 900	47	ca. 1100	-
Stahl	ca. 7,9	ca. 0,134	ca. 1450	57	2500	-
Isolierstoffe						
Magnesiumsilikat	2,6		1520	-	-	-
Keramik	1,9 - 2,7	ca. 0,23	-			
Glas	ca. 2,2 - 2,6	ca. 0,21	ca. 1027	-	-	-
Kunststoffe						
Polyamid	ca. 1,13	ca. 0,46	ca. 217			
Polyäthylen	0,93	ca. 0,52	107 - 140			
Poyester	ca. 1,2	ca. 0,35	-			
Polypropylen	0,9	ca. 0,27	ca. 160			
Polystyrol	ca. 1,05	ca. 0,35	ca. 100			
Polytetrafluoräthylen	2,2	ca. 0,29	ca. 300			
Polyurethan	1,26	ca. 0,52	-			
Polyvinylchlorid/PVC	1,4	ca. 0,27	ca. 90			
Flüssige Stoffe						
Oel	0,7 - 0,9	ca. 0,64	ca. -24	-	380	-
Wasser	ca. 1,0	1,16	ca. 0	93	100	624
Aceton	0,8	0,60	-95	26,7	56	-
Glyzerin	1,26	0,67	18,6	55 - 110	290	230
Heizöl	0,82 - 1,08	0,41 - 0,5	-5	-	>175	174
Leichtöl	0,89	0,48	-15	-	80 - 150	93 - 99
Maschinenöl	0,77 - 0,8	0,47	-5	-	380	-
Benzin	0,88	0,45	ca. 40	-	25 - 210	116
Paraffinöl	0,79 - 0,85	0,59	-			
Wärmeübertragungsöle bei 20°C	0,87 - 0,91	0,52	-	-	ca. 390°	-
Diphyl	1,06	0,42	ca. 12			
Gasförmige Stoffe						
Acetylen	1,17	0,46	-81	27,7	-84	230
Ammoniak	0,77	0,53	-78	94,2	-33	385
Wasserdampf	0,8	0,42	-	-	-	-
Luft	1,29	0,28	-213	-	192	55
Sauerstoff	1,4	0,25	-219	3,8	-183	59
Schwefeldioxid	3,5	0,17	-	-	-10	112
Stickstoff	1,25	0,29	-210	7,1	-196	56
Wasserstoff	0,09	0,36	-259	16,3	-253	128

Tabelle 1

BEISPIELE ZUR WÄRMEBERECHNUNG

3. BEISPIELE ZUR WÄRMEBERECHNUNG

3.1 ERWÄRMUNG EINES FESTEN KÖRPERS

Vorgabe:

Ein Werkzeug, aus Stahl,
spez. Wärme $c = 0,134 \text{ Wh/kg K}$
Masse $m = 14,75 \text{ kg}$, soll auf Arbeitstemperatur
 $T = 473 \text{ K}$ ($= 200^\circ\text{C}$) gebracht werden.
Anheizzeit $t = 0,5 \text{ h}$,
wenn bei Raumtemperatur gearbeitet wird,
beträgt die erforderliche
Temperaturerhöhung $\Delta T = 180 \text{ K}$ (bzw. 180°C).

zu ermitteln sind:

Anheizleistung P_A und
Dauerheizleistung P_D

$$P_A = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

Berechnung der Anheizleistung:

$$\text{Formel: } P_A = \frac{14,75 \text{ kg} \cdot 0,134 \text{ Wh} \cdot 180 \text{ K}}{0,5 \text{ h kg K}} = \underline{\underline{711 \text{ W}}}$$

Der ermittelte theoretische
Leistungsbedarf beträgt ca. 710 W.

Für kleine Werkzeuge ohne Isolierung betragen die
Wärmeverluste ca. 30 %.

Diese Verluste müssen zusätzlich zum theoretischen Leistungs-
bedarf aufgebracht werden. Der theoretische Leistungsbedarf von
710 W wird deshalb mit dem Faktor 1,3 multipliziert.

Dadurch ergibt sich eine
Gesamtleistung von ca. 920 W.

Die Werkzeugtemperatur wird von einem Temperaturregler über-
wacht. Die ermittelte Gesamtleistung kann deshalb mehr oder
weniger aufgerundet werden.

Mit dem Werkzeug soll

Polyamid (spezifische Wärme $C = 0,46 \text{ Wh/kg K}$) auf
ca. 473 K ($=200^\circ\text{C}$) erwärmt werden.
Der Durchsatz M_n beträgt $7,5 \text{ kg/h}$.

Berechnung der Dauerheizleistung:

$$\text{Formel: } P_D = \frac{7,5 \text{ kg} \cdot 0,46 \text{ Wh} \cdot 180 \text{ K}}{\text{h kg K}} = \underline{\underline{621 \text{ W}}}$$

Bei Auslegung der Heizelemente für die Anheizleistung von
 $P_A=710 \text{ W}$ fällt im Dauerbetrieb mehr Wärme an als gebraucht
wird. Die Abweichungen sind unwesentlich. Die Anheizleistung
kann deshalb auch beim Dauerbetrieb eingesetzt werden.

$$P_D = M_n \cdot c \cdot \Delta T$$

BEISPIELE ZUR WÄRMEBERECHNUNG

3.2 ERWÄRMUNG VON FLÜSSIGKEIT MIT AGGREGATZUSTANDSÄNDERUNG

Vorgabe:

10 l Wasser sollen innerhalb von 4h verdampft werden.

spezifische Wärmekapazität $c=1,16 \text{ Wh/kgK}$

Masse $m=10 \text{ kg}$

Ausgangstemperatur: $T=15^\circ\text{C}$

Siedetemperatur $T_s = 98^\circ\text{C}$

$\Delta T = 83\text{K}$

$t = 2\text{h}$

Zustandsänderungsenergie für Wasser

$W = 624 \text{ Wh/kg}$ (aus Tabelle 1, S. 13)

zu ermitteln ist:

Die erforderliche Leistung P_s bei einer Anheizzeit von 2 h zum Erreichen des Siedepunkts.

Die erforderliche Leistung P_v zum Verdampfen von 10 l Wasser innerhalb weiterer 2 h

Berechnung der Leistung P_s zum Erreichen des Siedepunktes

$$P_s = m \cdot c \cdot \Delta T / t$$

$$\begin{aligned} P_s &= 10 \text{ kg} \cdot 1,16 \text{ Wh} \cdot 83 \text{ K} / \text{kg K 2h} \\ &= \underline{\underline{481,4 \text{ W}}} \end{aligned}$$

erforderliche Leistung P_v zum Verdampfen von 10 l Wasser innerhalb 2 h

Zustandsänderungsenergie $W = 624 \text{ Wh/kg}$

Masse = 10 kg

$$P_v = W \cdot m/t$$

$$P_v = 624 \text{ Wh/kg} \cdot 10 \text{ kg}/2\text{h}$$

$$P_v = \underline{\underline{3120 \text{ W}}}$$

Der Gesamtleistungsbedarf für das Aufheizen innerhalb von 2 h und das Verdampfen innerhalb weiterer 2h von 10kg Wasser beträgt damit:

$$P_{\text{ges}} = P_s + P_v$$

$$= 481,4 \text{ W} + 3120 \text{ W}$$

$$= \underline{\underline{3601,4 \text{ W}}}$$

Anmerkung: Die für die Aggregatzustandsänderung erforderliche Energie ist meist deutlich höher als die für den Anheizvorgang benötigte Energie.

BEISPIELE ZUR WÄRMEBERECHNUNG

3.3 ERHALTEN EINER BESTIMMTEN TEMPERATUR

Vorgabe:

50 l Wasser

sollen in einem Behälter innerhalb von 10 Min (=0,167 h) zwischen 50° C und 60° C temperiert werden. Die Temperaturdifferenz beträgt damit 10 K.

Masse $m=50$ kg

Ausgangstemperatur $T_a = 50^\circ$ C

Endtemperatur $T_e = 60^\circ$ C

$\Delta T = 10$ K, $t = 0,167$ h, $c = 1,16$ Wh/kgK

zu ermitteln ist:

erforderliche Leistung bei angenommenen Abstrahlungsverlust von 25% (Multiplikator 1,25).

$$\begin{aligned} P &= 1,25 \cdot m \cdot c \cdot \Delta T / t \\ &= 1,25 \cdot 50 \text{ kg} \cdot 1,16 \text{ Wh} \cdot 10 \text{ K} / \text{kg} \cdot \text{K} \cdot 0,167 \text{ h} \\ &= \underline{\underline{4341 \text{ W}}} \end{aligned}$$

3.4 ERWÄRMUNG EINES KÖRPERS MIT KLEINER MASSE U. GROSSER OBERFLÄCHE

Vorgabe:

Eine Stahlblechplatte

mit den Maßen 500mm x 300mm x 10mm

soll in 0,5 h von 20°C auf 150°C erwärmt werden.

Masse (bei $\rho = 7,85$ kg/dm³) $m = 11,78$ kg

spezifische Wärmekapazität für Stahl $c = 0,134$ Wh/kgK

$\Delta T = 130$ K, $t = 0,5$ h, $A = 1500$ cm²

Anmerkung:

Aufgrund der großen Abstrahlungsverluste muß eine Oberflächenbelastung von min. 1W/cm² zur Beheizung der Platte realisiert werden. Dies hat sich in der Praxis als Erfahrungswert herausgestellt.

zu ermitteln ist:

Erforderliche Leistung zur Beheizung der Stahlplatte

Berechnung der Anheizleistung P ohne Strahlungsverlust

$$\begin{aligned} P &= m \cdot c \cdot \Delta T / t = 11,78 \text{ kg} \cdot 0,134 \text{ Wh} \cdot 130 \text{ K} / \text{kg} \cdot \text{K} \cdot 0,5 \text{ h} \\ &= \underline{\underline{410 \text{ W}}} \end{aligned}$$

Oberflächenbelastung

$$H = P/A = 410 \text{ W} / 1500 \text{ cm}^2 = \underline{\underline{0,27 \text{ W/cm}^2}}$$

Die errechnete Oberflächenbelastung liegt deutlich unter 1 W/cm². Das bedeutet, bei einer Oberflächenbelastung von mindestens 1W/cm² muß eine Leistung von mindestens P=1500 W (A=1500cm²) installiert werden, um eine ausreichende Erwärmung der Stahlplatte zu erreichen.

Hierbei wird davon ausgegangen, daß die Abstrahlung nur auf einer Fläche der Stahlplatte erfolgt und die gegenüberliegende Seite, sowie die Seitenflächen, thermisch isoliert werden.

VERDICHTE U. UNVERD. HEIZELEMENTE

4. EIGENSCHAFTEN VERDICHTETER UND UNVERDICHTETER HEIZELEMENTE

4.1 VERDICHTE U. UNVERDICHTE HEIZELEMENTE

Die Belastbarkeit eines Heizelements korreliert mit dem Verdichtungsgrad. Je höher ein Heizelement verdichtet ist, desto höher ist die maximal zulässige Oberflächenbelastung (Einheit W/cm^2).

Unverdichtete Heizelemente sind gekennzeichnet durch eine geringe Oberflächenbelastung und finden vor allem dort ihr Einsatzfeld, wo keine hohen Anforderungen gestellt werden. Durch einfachen Aufbau und Fertigungsverfahren sind diese Heizelemente preisgünstig.

Im Gegensatz zu den unverdichteten Heizelementen sind bei den verdichteten Heizelementen die Heizleiter in reinem und verdichtetem Magnesiumoxid (MgO) verpresst. Je nach Verdichtungsverfahren können hier leicht- und hochverdichtete Heizelemente unterschieden werden.

Leichtverdichtete Heizelemente sind für die Beheizung fester und flüssiger Medien geeignet. Die Oberflächenbelastung liegt bei maximal $6,5W/cm^2$. Hochverdichtete Heizelemente sind für schwierige Betriebsbedingungen konzipiert. Durch den Einsatz hochwertiger Materialien und durch ein spezielles Herstellungsverfahren sind hohe Oberflächenbelastungen möglich (bis zu $35W/cm^2$, Typ HLP). Extrem große Leistungen können so auf kleinstem Einbauraum untergebracht werden.

4.2 EINFLUSS VON FEUCHTIGKEIT

Prinzipiell ist zu beachten, daß jeder verdichtete Heizkörper, sei dies eine Heizpatrone oder Rohrheizkörper Feuchtigkeit aus der Luft zieht. Dies hängt mit dem verwendeten Magnesium-Oxid zusammen. MgO wird als hochwertiger elektrischer Isolator in den Heizelementen eingebracht, ist jedoch äußerst hygroskopisch.

Feuchtigkeit ist meistens der Grund für einen niedrigen Isolationswiderstand. Daher sollten Heizelemente, die nicht sofort eingebaut werden, nur in trockenen Räumen gelagert werden.

Wenn Heizelemente Feuchtigkeit gezogen haben, können sie getrocknet werden. Durch langsames Aufheizen und Lagerung bei $180^\circ C$ während 8 Stunden wird die Feuchtigkeit ausgetrieben. Anschließend ist eine erneute Prüfung des Isolationswiderstandes erforderlich und bei negativem Ergebnis, ist gegebenenfalls ein weiterer Ausheizzyklus zu durchlaufen.

VERDICHTE U. UNVERD. HEIZELEMENTE

4.3 MANTELTEMPERATUR UND MANTELWERKSTOFF

Entsprechend dem vorgesehenen Temperaturbereich und dem zu beheizenden Medium, ist der Mantelwerkstoff des Heizelements zu wählen.

Die Tabelle beinhaltet Höchstwerte, sie gewährleisten eine hohe Betriebssicherheit bei guter Wärmeabfuhr, sachgemäßen Einbau und Vermeidung der Beeinflussung durch andere Heizkörper vor- ausgesetzt. Höhere spezifische Oberflächenbelastungen sollten nur in Sonderkonstruktionen nach sorgfältiger Erprobung gewählt werden.

WERKSTOFFDATEN						
Anwendung	Temp. des zu beheizenden Stoffes in °C	Zulässige spez. Oberflächenbelastung in W/cm ² bei Rohrmantel aus				
		Kupfer	Stahl 1.0112	CrNi-Stahl 1.4541*	CrNi-Stahl 1.4876	CrNi-Stahl 1.4435
Wasser, ruhend	100	10	-	10	-	10
Wasser, umgewälzt (Waschmaschinen)	100	14	-	14	-	14
Wasser, strömend (Durchlauferhitzer)	100	25	-	25	-	20
Wasser, bei Trockengehgefahr	95	6	-	6	-	6
Druckwasser bis 35 bar	240	6	-	10	-	10
alkalische Bäder	100	-	6	-	-	-
verdünnte Säuren	100	-	-	-	2,5	2
Phosphatierungs-bäder	90	-	-	4	-	4
Öl, dünnflüssig	50	-	3,5	3,5	-	-
Öl, dünnflüssig	250	-	2	2	-	-
Öl, dünnflüssig	350	-	1,5	1,5	-	-
Öl, dickflüssig	300	-	1,2	1,2	-	-
Öl, in geschlossenem Behälter (Radiatoren)	80	-	12	12	-	-
Glyzerin	150	2	2	2	-	-
Teer	150	-	1	1	-	-
Bleibad	500	-	-	4	-	-
Luft, ruhend	25	-	1,7	5	6,0	-
Luft, ruhend	200	-	1	4	5	-
Luft, strömend mit 2 m/s	50	-	2	5,5	6,5	-
	250	-	0,7	3,5	4	-
	450	-	-	2	2,2	-
Luft, strömend mit 6 m/s	50	-	3,5	9	10	-
	250	-	1,6	6	6,5	-
	450	-	-	3,5	4	-
Luft, strömend mit 10 m/s	50	-	5	10	10	-
	250	-	2	8	9	-
	450	-	-	4,5	5,5	-

Tabelle 2

* eingeschränkte Korrosionsbeständigkeit bei Medien mit freien Halogenid-Ionen (z.B. Chlor-, Brom-, Jod- und Fluorionen)

VERDICHTE U. UNVERD. HEIZELEMENTE

4.4 AUSWAHL DES VERDICHTETEN HEIZELEMENTS

Die Lebensdauer von Heizelementen wird vor allem durch die Betriebstemperatur des Heizleiters bestimmt. Die Heizleitertemperatur hängt direkt von der Oberflächenbelastung ab. Beim Einsatz hochverdichteter Heizelemente ist deshalb eine besonders gute Wärmeabfuhr notwendig.

Beispiel:

Bei einer Oberflächenbelastung von 4 W/cm^2 wird in ruhender Luft eine Manteltemperatur von 600°C erreicht.

Das nebenstehende Diagramm zeigt die Manteltemperatur von verdichteten Heizelementen in Abhängigkeit von der Oberflächenbelastung in verschiedenen Medien. Die angegebenen Werte dienen nur als Richtwerte, da sie auch von Drücken und Strömungsgeschwindigkeiten beeinflusst werden.

Um eine lange Lebensdauer der Heizelemente zu erreichen, sollte bei der Auswahl prinzipiell von einem Heizelement mit möglichst geringer Oberflächenbelastung und möglichst großem Durchmesser ausgegangen werden.

Weitere Faktoren die einen Einfluß auf die Lebensdauer haben sind,

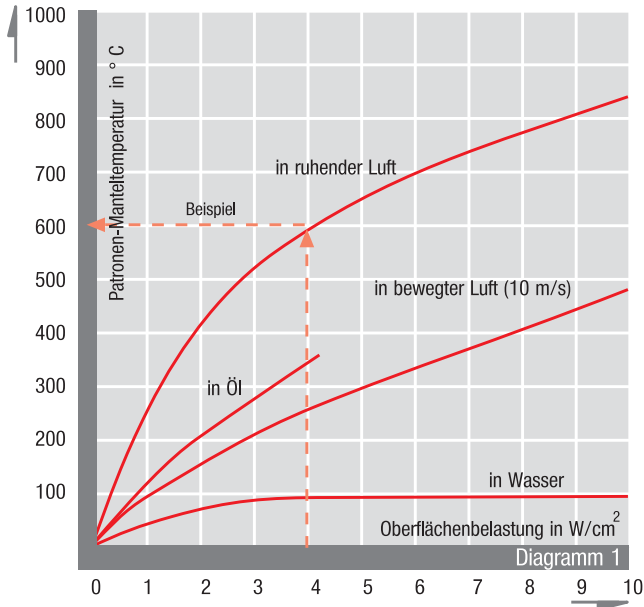
- Wärmeübertragung zwischen Heizleiter und Heizkörpermantel
- Wärmeübertragung zwischen Heizkörpermantel und Werkzeug, d.h. Bohrungsspiel bzw. Passung
- Wärmeverluste
- Art der Temperaturregelung (stetig oder unstetig)

4.5 VERWENDUNG IN FLÜSSIGEN UND GASFÖRMIGEN MEDIEN

Bei Flüssigkeitserwärmung müssen verdichtete Heizelemente im Betriebszustand stets von der Flüssigkeit umgeben sein. Waagrechter Einbau ist deshalb dem senkrechten Einbau vorzuziehen. Am höchsten Punkt des Heizelementes muß ein Übertemperaturschutz (z.B. metallisch angekoppelter Temperaturfühler) vorgesehen werden. Wärmeflußhemmende Ablagerungen (z.B. Kalkrückstände, Teer oder ähnliches) an der Oberfläche der Heizelemente sind zu vermeiden. Sie verringern die Lebensdauer.

Bei zahlreichen Flüssigkeiten wird die zulässige Oberflächenbelastung durch die Flüssigkeit selbst bestimmt. Dies gilt vor allem für Öle, Kleber und ähnliche Substanzen. Diese Medien zersetzen sich und lagern sich auf der Oberfläche des Heizelementes ab. Drücke und Strömungsverhältnisse spielen dabei eine wesentliche Rolle. Sollte der Einsatz von Hochleistungsheizpatronen von der Oberflächenbelastung her nicht möglich sein, empfehlen wir die Verwendung unserer leichtverdichteten Heizpatronen, Typ PMV.

Beim Einsatz der hochverdichteten Heizelemente mit CrNi-Stahlmantel in gasförmigen Medien sollte eine Oberflächenbelastung von ca. 5 W/cm^2 nicht überschritten werden. Sofern Heizelemente für die Erwärmung gasförmiger Medien in Zusammenhang mit



VERDICHTE U. UNVERD. HEIZELEMENTE

Lüftern, Gebläsen oder unter Überdruck eingesetzt werden, können in Folge der dabei entstehenden erzwungenen Konvektion auch höhere Oberflächenbelastungen realisiert werden. (siehe Tabelle 2, S. 18)

Beim Zusammenbau einer Heizbatterie aus mehreren Heizelementen treten unter Umständen Windschatten auf. Die Oberflächenbelastung sollte in solchen Fällen weiter abgesenkt werden, um eine Überhitzung einzelner Heizelemente zu verhindern.

HOCHLEISTUNGSHHEIZPATRONE TYP HLP

5. HOCHLEISTUNGSHHEIZPATRONE TYP HLP

5.1 BESCHREIBUNG UND BESONDERHEITEN

Hochleistungsheizpatronen Typ HLP sind hochverdichtete Heizpatronen, die durch ein spezielles Fertigungsverfahren und durch den Einsatz hochwertiger Materialien für schwierige Betriebsbedingungen konzipiert sind. Der spezielle Aufbau ermöglicht eine extrem hohe Oberflächenbelastung und damit die Unterbringung großer Leistung auf kleinem Raum.

Beim Einsatz verdichteter Heizpatronen in festen Medien muß die Wärme gut abgeführt werden. Um die dazu erforderliche Passung und Oberflächengüte zu erhalten, muß die Bearbeitung der Aufnahmebohrung mit einer Reibahle erfolgen.

Der Außendurchmesser der Hochleistungsheizpatronen Typ HLP und Typ HPL, ist auf die Passung ISA H7 abgestimmt. Das maximale Bohrungsspiel ergibt sich aus der Differenz zwischen kleinstem Patronendurchmesser und größtem Bohrungsdurchmesser. Die Toleranzfelder sind in Abb. 20.1 aufgeführt. Bei Heizpatronen mit Oberflächenbelastungen ab 20 W/cm^2 empfehlen wir, von der H7 Passung abzuweichen und die Patronen individuell einzupassen, um einen Schiebesitz zu erreichen.

In vielen Fällen ist auch eine zweiteilige Gestaltung des Werkzeugs möglich, die ein Einpressen des Heizkörpers erlaubt. Bei extremen Belastungen sollte die Betriebsspannung des Heizelementes gesenkt werden. Dadurch ist die Verwendung eines Heizleiters mit größerem Durchmesser und entsprechend höherer Lebensdauer möglich.

5.2 BOHRUNGSSPIEL UND PASSUNG

Aufgrund des extrem hohen Temperaturbereichs der Hochleistungsheizpatronen ist das Bohrungsspiel S und die Passung ein wichtiger, die Lebensdauer bestimmender Faktor. Jede

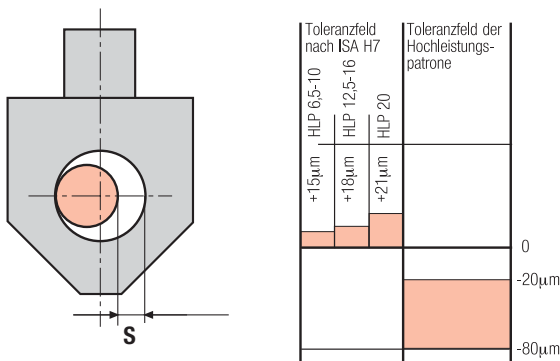
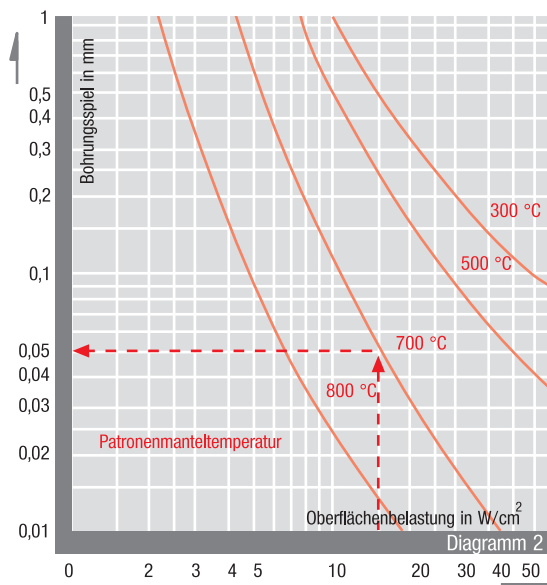


Abb. 20.1

HOCHLEISTUNGSHHEIZPATRONE TYP HLP



Vergrößerung des Bohrungsspiels führt bei konstanter Werkzeugtemperatur zu einer Erhöhung der Manteltemperatur. Die Differenz kann vor allem bei Oberflächenbelastungen über 20 W/cm^2 mehrere 100°C betragen. Die angegebenen Werte sollen nur als Anhaltspunkte dienen, da die Bedingungen von Fall zu Fall verschieden sind.

Beispiel:

Bei einer erforderlichen Temperatur von 700°C und einer Oberflächenbelastung von 15 W/cm^2 darf das Heizelement ein Bohrungsspiel von $0,05 \text{ mm}$ nicht übersteigen.

BETRIEB MIT TEMPERATURREGLERN

6. BETRIEB MIT TEMPERATURREGLERN

6.1 STETIGE UND UNSTETIGE REGLER

Der Einsatz von Heizelementen in Industrieprozessen erfordert einerseits einen wirksamen Schutz gegenüber Überhitzung und in vielen Fällen eine präzise Regelung und Steuerung der Temperatur.

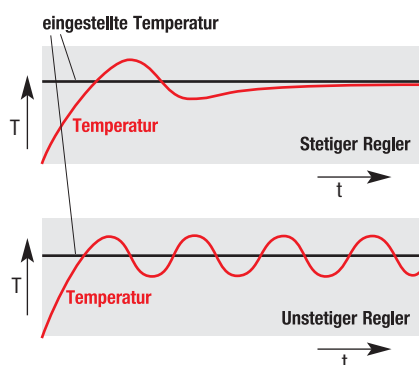
Der einfachste und preisgünstigste Schutz gegen thermische Überhitzung wird durch eine Temperatursicherung erreicht. Übersteigt die Temperatur einen vordefinierten Bereich, so reagiert die Sicherung und der Stromkreis wird unterbrochen. Durch Austausch der defekten Sicherung kann der Heizprozeß wieder in Gang gesetzt werden. In vielen Anwendungsfällen ist jedoch der Einsatz einer Temperatursicherung ungenügend. Statt dessen ist es erforderlich, die Temperatur des Mediums zu regeln oder zu steuern. Es werden zwei Arten von Reglern unterschieden:

Stetige Regler (Proportional-Regler)

Diese Regler geben die Leistung proportional zu der vom Fühler gemessenen Regelabweichung ab. Bei besonderen Ausführungen wird die abgegebene Leistung durch integrale bzw. differenzielle Bestandteile entsprechend beeinflusst. Die vom Regler durchgelassene Leistung kann alle Zwischenwerte vom Minimalwert bis zum Maximalwert erreichen.

Unstetige Regler (z.B. Zweipunktregler)

Diese Reglertypen schalten, vom Fühlerelement gesteuert, die gesamte Leistung ein oder aus. Die Schaltung von Zwischenwerten ist nicht möglich. Je nach Art des Aufbaus unterscheidet man verschiedene Zweipunktreglergruppen:



BETRIEB MIT TEMPERATURREGLERN

Grundsätzliches zur Lebensdauer

Die Lebensdauer der Heizleiter von Widerstandsheizelementen wird bei Zweipunktregelung aufgrund der extremen Wechselbeanspruchung negativ beeinflusst. Bei Heizelementen mit hoher Leistungskonzentration macht sich dies besonders stark bemerkbar.

Für Anlagen mit hochbelasteten Heizelementen empfehlen wir deshalb den Einsatz von stetigen Reglern (Lebensdauerfaktor ca. 1:10).

Bimetallregler

Bimetallregler stellen eine günstige Methode der Temperaturkontrolle dar. Der Bimetallregler öffnet oder schließt den Stromkreis, durch unterschiedliche temperaturbedingte Ausdehnung der zwei Bimetallstreifen.

Kapillarrohr- und Stabausdehnungsregler

Diese Regler finden weite Verbreitung in der Industrie. Durch temperaturbedingte Flüssigkeitsausdehnung kommt es zu einem „Öffnen“ oder durch Temperaturabfall zu einem „Schließen“ der Kontakte. Der Nachteil der Regler ist die Trägheit, d.h. überall dort, wo eine exakte Temperaturregelung gefordert ist, oder wo häufige An- und Ausschaltvorgänge vorherrschen, sind diese Regler nicht ideal.

Neben diesen beiden genannten Reglern gibt es noch **elektronische Zweipunktregler**.

6.2 LEISTUNGSSTELLER (DIMMER)

Bei Heizanlagen mit relativ konstantem Wärmebedarf können auch elektronische Leistungssteuergeräte eingesetzt werden. Die Leistung wird dabei ähnlich wie bei stetigen Reglern dosiert.

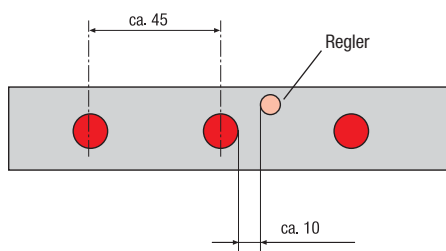
Allerdings sind die Leistungssteuergeräte nicht mit einem Temperaturfühler ausgerüstet, so daß ein Vergleich zwischen Ist- und Solltemperatur nicht stattfindet. Bei wechselnd auftretenden Störgrößen sind Leistungssteller ungeeignet.

6.3 LAGE DES TEMPERATURFÜHLERS

Entscheidend für die präzise und zuverlässige Steuerung und Regelung des thermischen Prozesses ist die Lage des Temperaturfühlers. Im Idealfall, ist der Temperaturfühler direkt am prozeßrelevanten Meßort zu positionieren. Je weiter der Temperaturmeßpunkt entfernt ist, desto ungenauer wird die Steuerung und Regelung.

Weiter können Störgrößen sein:

- Zeitverzögerung zwischen Temperaturänderung und der Reaktion des Fühlers
- Temperaturänderung und Fühlersignal sind nicht proportional
- Fehler durch Leitungswiderstand oder Spannungsunterschiede zwischen Meßfühler und Regler
- Genauigkeit des Regelgerätes



Werkzeugplatte mit Hochleistungsheizpatronen
Der Fühler muß zur Vermeidung thermischer Überlastung der Patrone in der Nähe angebracht werden.

TEMPERATURSENSOREN

7. TEMPERATURSENSOREN

Leitende Werkstoffe verändern ihren elektrischen Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur. Diese Eigenschaft wird bei diesen Fühlern für die Messung der Temperatur ausgenutzt. Man unterscheidet zwischen Thermoelementen und Widerständen als Fühler.

7.1 MANTELHERMOELEMENTE

Werden zwei verschiedene Metalle miteinander verbunden, so entsteht durch die unterschiedliche Bindungsenergie der Elektronen an die Metallatome eine Thermospannung. Eine solche Anordnung bezeichnet man als Thermoelement.

Die sich bildende Thermospannung -diese liegt im Millivoltbereich- ist zum einen von den Metallen und zum anderen von der Temperatur abhängig. Die verschiedenen Leiter bezeichnet man als Thermopaar und die einzelnen Leiter als Thermoschenkel.

In einem Mantelthermoelement sind die beiden Thermoschenkel von einem Metallmantel umgeben und mit verdichtetem MgO voneinander isoliert.

Am Thermopaar des Fühlers schließt man jeweils Leiter aus dem gleichen Material an. Diese Ausgleichsleitungen verhindern zusätzliche Thermospannungen an den Fühleranschlüssen. Die Ausgleichsleitungen werden direkt mit einem Anzeigegerät angeschlossen und die Temperaturdifferenz zwischen Instrument und Meßort läßt sich feststellen. Häufig verwendete Thermoelemente sind Eisen-Konstantan (Fe-CuNi) für Temperaturen bis 500°C und NiCr-Ni für Temperaturen bis ca. 800°C.

Thermoelemente haben wegen ihres großen Arbeitsbereichs eine weite Verbreitung in der Industrie.

7.2 PLATINWIDERSTÄNDE - PT 100

Metalle haben die Eigenschaft, bei Temperaturerhöhung den Strom weniger gut zu leiten, als bei niedrigen Temperaturen. Diese Eigenschaft wird beim Widerstandsthermometer ausgenutzt. Der Meßwiderstand eines Widerstandsthermometers besteht aus Platin oder Nickeldraht und ist so bemessen, daß er bei 0°C einen Widerstand von 100 Ω hat.

Damit seine von der Temperatur abhängigen veränderlichen Widerstandswerte gemessen werden können, wird das Widerstandsthermometer an eine Hilfsspannung angelegt. Die Temperaturveränderung kann dann über den Spannungsabfall am Fühler erfaßt werden. Zur Messung dient ein Voltmeter.

Als Meßschaltungen lassen sich Zweileiter- oder Dreileiterschaltung unterscheiden. Letztere werden i.d.R. eingesetzt, denn mit dieser Schaltung sind Messungen über größere Entfernungen möglich. Der Temperatureinfluß der Zuleitungen wird reduziert, diese können mit normaler Kupferleitung beliebig verlängert werden.

PT-100 Elemente eignen sich dort, wo Temperaturen bis 200°C genau geregelt werden müssen.

7.3 THERMISTOREN

Heißleiter bzw. NTC-Widerstände (negativer Temperaturkoeffizient) sind Thermistoren (Thermic Resistor = wärmeabhängiger Widerstand), mit einem negativen Temperaturbeiwert, d.h. der Widerstand eines Heißleiters nimmt mit steigender Temperatur ab.

Thermistoren reagieren schneller als die PT-100-Elemente sind jedoch empfindlich und können nur in einem engen vorab definierten Temperaturbereich eingesetzt werden.

ALLGEMEINER HINWEIS

8. ALLGEMEINER HINWEIS

Die mit diesen Berechnungsgrundlagen dargestellten Hinweise und Empfehlungen können nur als Richtlinien gelten. Sie sind als Hilfe für den Anwender gedacht. Es können keine Rechtsansprüche abgeleitet werden.

Weitere Berechnungshinweise können Sie unseren jeweiligen Sonderprospekten entnehmen. Für die individuelle Berechnung Ihrer Beheizungsaufgabe bitten wir Sie, uns im Bedarfsfall zu konsultieren.

IHR KOMPETENTER PARTNER

Wärmstens möchten wir Ihnen unsere neuesten, aber auch unsere etablierten Entwicklungen auf dem Gebiet der elektrischen Beheizungstechnik empfehlen.

Sie finden bei uns für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche zuverlässige Heiz-Komponenten nach Maß.

Bitte informieren Sie sich auch über unser umfangreiches Programm verdichteter Heizelemente:

- **Flachrohr-Heizkörper Typ RKF**
- **Hochleistungs-Heizpatronen Typ HLP**
- **Lufterhitzer Typ HRR/RHR**
- **Einschraub-Heizkörper Typ EHK**
- **Rohrheizkörper Typ RHK**
- **Leistungswiderstände Typ ALW**
- **Flachheizkörper Typ FLC**
- **Flexibler Rohrheizkörper Typ FLEX**
- **Thermoelemente Typ TE**
- **Hochleistungs-Rohrpatrone Typ RP**

Türk+Hillinger GmbH
Föhrenstr. 20
D-78532 Tuttlingen
Tel. 0 74 61-70 14-0 Fax 70 14-110

Türk+Hillinger Elektrowärme GmbH
Dorotheenstr. 22
D-09212 Limbach/Oberfrohna
Tel. 0 37 22-71 89-0 Fax 71 89-16

info@tuerk-hillinger.de
www.tuerk-hillinger.de

Türk+Hillinger USA, Inc.
6650 W. Snowville Road, Suite W
P.O. Box 41371
Brecksville, Ohio 44141, USA

Tel. +1 440-512 71 44
Fax +1 440-512 71 45
info@turk-hillinger.us
www.turk-hillinger.us



TURK+HILLINGER
THERMAL TECHNOLOGY