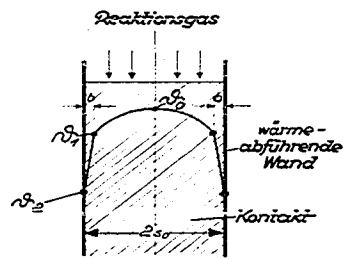


~~10~~ 37

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>I. Einleitung</u>	1
<u>II. Die gebräuchlichsten Bauarten von Reaktionsöfen</u>	2
a) Plattenofen	3
b) Innenkontaktröhrenofen	4
c) Außenkontaktröhrenofen	5
d) Ringraumofen	6
<u>III. Theoretische Berechnungsgrundlagen</u>	7
a) Der Kontakt befindet sich zwischen parallelen ebenen Kühlflächen.	7
b) Der Kontakt befindet sich in einem Rohr, das von Kühlmedium umgeben ist.	10
c) Der Kontakt ist in einer konzentrischen Schicht um das Kühlrohr angebracht.	12
d) Der Kontakt befindet sich zwischen zwei kreisförmigen äquidistanten Kühlflächen.	16
<u>IV. Diskussion</u>	18
A) Vergleich einzelner Kontaktbahnen	18
a) Gleichwertige Kontaktraumquerschnitte	18
b) Kühlflächen	20
B) Vergleich von Reaktionsöfen	21
a) Kühlflächenbedarf der verschiedenen Bauarten	21
b) Raumausnutzung der verschiedenen Bauarten	27
<u>V. Zusammenfassung</u>	29

*Temperaturverlauf
in einer Kontaktbahn.*



55171

31 70046

*Abb. 1. Temperaturverlauf in
einer Kontaktbahn.*

Durch eine Kontaktbahn, welche aus einem Material besteht, das einen hohen Wärmeleitkoeffizienten besitzt, wird die Wärme, die bei der Reaktion entsteht, abgeführt und in die Wand abgeführt wird, so dass die

nen von einer kurzen Anlaufstrecke am Ofeneingang, die Reaktionswärme nicht zur Temperaturerhöhung des Gases. Die Temperatur auf einer Parallelen zur Achse ist durch den ganzen Ofen hindurch die gleiche. In der Mitte der Strombahn herrscht die Temperatur θ_0 . Durch Wärmeableitung gegen die Wand fällt die Temperatur parabolformig ab und erreicht in der Nähe der Kühlfläche den Wert θ_1 . In einer verhältnismäßig schmalen Randzone von der Breite b erfolgt der Wärmeübergang an die Wand mit einem Temperaturgefälle $(\theta_1 - \theta_2)$. Da in der Literatur für die Bestimmung der Wärmeübergangszahlen von strömenden Gasen an eine Wand in mit Kontakt gefüllten Röhren nur sehr unvollkommene Unterlagen zu finden sind, und außerdem die schmale Randzone infolge ihrer tieferen Temperatur vermutlich ohne wesentlichen Einfluß auf die Reaktion ist, wurde den folgenden Betrachtungen und Berechnungen nur der Temperaturabfall $(\theta_0 - \theta_1)$ durch Wärmeleitung innerhalb der Kontaktschicht zugrunde gelegt, dagegen der Temperaturverlauf in der Grenzschicht an der Kühlwand vernachlässigt.

Die anschließenden Betrachtungen haben den Zweck Berechnungsunterlagen zu schaffen, mit deren Hilfe folgende Probleme einer Lösung zugeführt werden können:

- 1.) Die Dimensionierung von Reaktionsöfen anhand physikalischer Stoffeigenschaften wie der Wärmeleitfähigkeit in der Kontaktschicht und einiger durch Versuche zu bestimmender Größen wie der je Volumeneinheit im Kontakt entwickelten Wärmemenge und der zulässigen Temperaturdifferenz in der Kontaktschicht.
- 2.) Die Bemessung von verschieden geformten Kontakträumen mit Hilfe der meist an kleinen Einrohröfen im Laboratorium gefundenen maximal zulässigen Abmessungen des Kontaktröhrens.
- 3.) Die Bewertung und Beurteilung der verschiedenen für exotherme und endotherme Reaktionen verwendeten Ofenbauarten insbes. auf den Aufwand an Wärmeaustauschfläche und die Ausnutzung des umhüllten Raumes für die Aufnahme von Kontakt.

Wie gesagt, verwendet man im Laboratorium für Versuche in fast allen Fällen Röhrenöfen, bei denen der Kontakt innerhalb des Rohres angeordnet ist. Für diesen Ofentyp liegen die maximal möglichen Abmessungen meist fest, da die größte noch zulässige Rohrweite ermittelt werden kann, indem man die Reaktion in Öfen verschiedenen Durchmessers ausführt.

Der Ofen mit dem Kontakt in den Röhren, im folgenden kurz Innenkontaktröhrenofen genannt, wurde infolgedessen den anschließenden Betrachtungen als Norm bzw. als Vergleichsbasis zugrunde gelegt und alle anderen Ofenbauarten darauf bezogen.

II. Die gebräuchlichsten Bauarten von Reaktionsöfen.

a) Plattenöfen

Für die Kohlenwasserstoffsynthese wird vorzugsweise ein Ofen benutzt, bei dem der Kontakt zwischen ebenen Kühlwänden gelagert ist (Abb. 2).

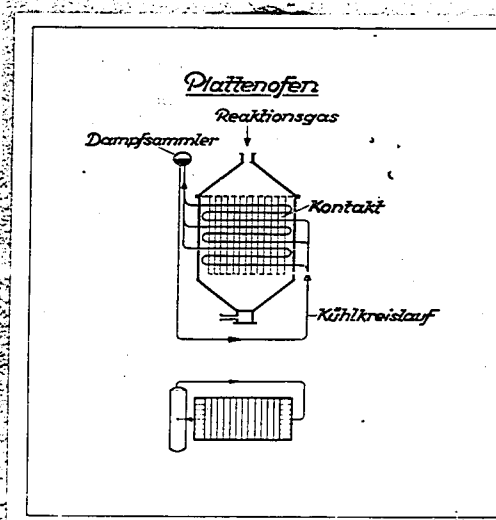


Abb. 2 Plattenofen.

Senkrecht zu den Kühlflächen laufen von einer Kühlflüssigkeit durchströmte Rohre, auf denen diese Kühlflächen durch Aufwalzen oder Aufsetzen befestigt sind. Der Wärmestrom geht in wesentlichen von dem Kontakt an die Wand und durch die Wand an das Kühlrohr. Dabei kann der Temperaturabfall in der Wand infolge der geringen Wärmebelastungen vernachlässigt werden. Als Kühlmittel wird vorwiegend verdampfendes Wasser benutzt. Die Trennung zwischen Wasser und Dampf erfolgt in einer Obertrommel, aus welcher der Dampf abgezogen und in welche neues Speisewasser eingeführt wird. Das Synthesegas tritt oben in den Kontakt ein und wird durch die Kühlfläche in eine entsprechende Anzahl Teilströme zerlegt. Unten verläßt das nicht umgesetzte Gas zusammen mit den Reaktionsprodukten den Ofen. Der Ofen stellt also praktisch ein Rippenrohr dar.

Als zwei große Röhren, welche von einem gemeinsamen Mantel umschlossen sind,

1. Innenkontaktröhrenofen.

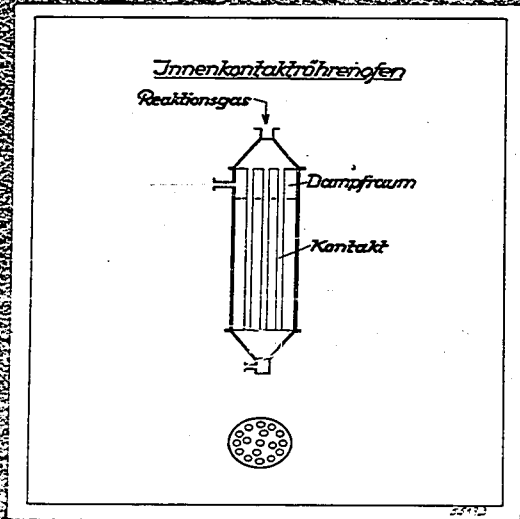


Abb. 1. Innenkontaktröhrenofen.

Bei dieser Bauart wird eine Anzahl von Röhren, die parallel geschaltet sind, parallel geschaltet, indem nur die oben und unten in einer Rohrenden einmündet zum einmündigen. In die Röhre befindet sich die gasempfindliche Rührfüllung, die durch einen dichten Mantel umschlossen ist. Der Gasstrom geht von oben nach unten durch den Reaktionsraum. Der oben kann, wie im Falle eines eigenen Dampfzuges erhalten oder der Dampfraum wird, wie zur Zeit geschildert, in den eigentlichen Brennkammer hineinkonstruiert. So weit der Dampfraum reicht, dürfen die Röhre nicht mit Kontakt gefüllt sein, da sonst Überhitzungen erfolgen. Dieser Teil der Röhre dient dann zur Gasvorheizung auf Synthesetemperatur. Praktisch stellt dieser Ofentyp nur die zweckmäßig durchgebildete Parallelschaltung einer entsprechenden Anzahl von Röhren dar, wie sie im Laboratorium verwendet werden, das.

a) Außenkontaktrohröfen

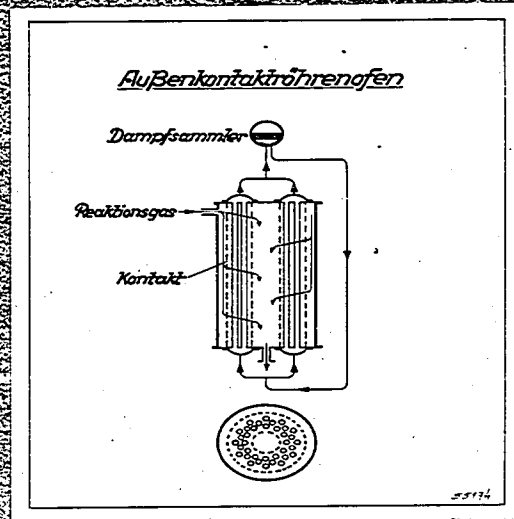


Abb. 4 Außenkontaktrohröfen

Man kann aber auch das Kühlwasser durch die Rohre fließen lassen und den Kontakt um die Rohre anordnen und erhält dadurch, wie auf Abb. 4 gezeigt, den Außenkontaktrohröfen. Die Rohre sind bei der gewählten Ausführung senkrecht angeordnet. Das Synthesegas fließt aus einem Ringraum in horizontaler Richtung durch die Kontaktschicht und wird aus einem kreisförmigen Sammelraum in der Mitte des Ofens zusammen mit dem Reaktionsprodukt nach unten abgezogen. Der Kühlkreislauf bietet gegenüber den besprochenen Ausführungsformen nichts Neues.

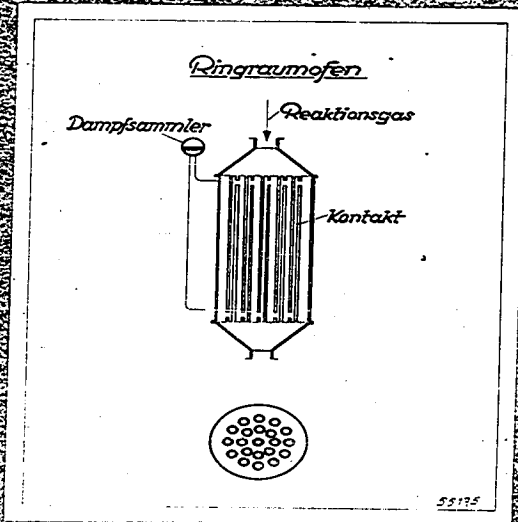
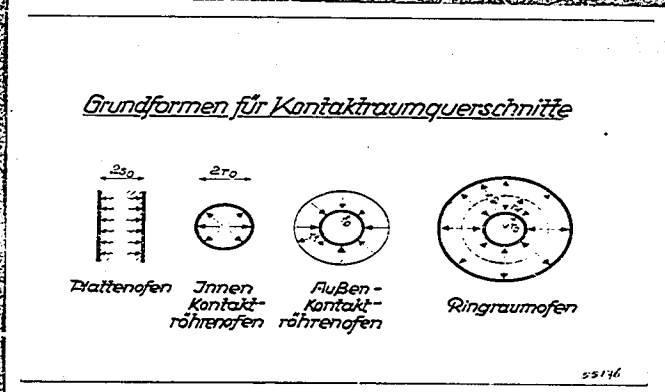


Abb. 5 Ringraumofen

An Stelle der unter b beschriebenen Kontaktanordnung in Rohren kann man den Katalysator auch in Ringräume einfüllen, welche durch zwei konzentrische Röhre gebildet werden. Die Katalysatorkorn befindet sich dann sowohl in dem inneren, als auch im dem äußeren Rohr. Letzteres wird oben und unten in seinen Boden eingeschweißt. Im übrigen zeigt der Ofen den gleichen Aufbau, wie der unter b beschriebene Innenkontaktröhrenofen. Die aufgeführten Ofentypen stellen die heute für katalytische Reaktionen gebräuchlichsten Formen dar. Sie sollen den folgenden Berechnungen zugrunde gelegt werden, vor allem, weil die Querschnittsformen des Kontaktraumes so einfach sind oder auf so einfache Grundformen zurückgeführt werden können, daß sie der Rechnung zugänglich sind. Alle anderen mehr oder weniger gewählten Bauformen spielen eine untergeordnete Rolle und sollen außer Betracht bleiben. Es wird allerdings möglich sein, sich anhand der Rechnungs- und Kurvenunterlagen ein Bild über ihren Wert zu machen und

... auch für solche Fälle die Überwiegende Dimensionierung voraussetzt.
 ... sollen die Berechnungen ... Vorgänge beschreiben ...
 ... als gut ...

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...
5. ...
6. ...



Der Wert s_0 ist durch die eingezeichneten Pfeile angegeben.

Abb. 5 Grundformen für Kontaktraumquerschnitte.

a. Der Kontakt befindet sich zwischen parallelen ebenen Kühlflächen (Plattenofen).

Es bedeuten:

- $2 s_0$ den Kühlflächenabstand in mtr.
- t_0 die Temperatur in $^{\circ}C$

Die Temperatur in der Mitte θ_m ist eine mit θ_0 veränderliche Funktion des Abstandes s von der Mitte der Kontaktfläche zur Kühlwand.

Die im Element dV erzeugte Wärme dQ ist demnach

Die zu diesem Element gehörende Wärme dQ'' ist demnach

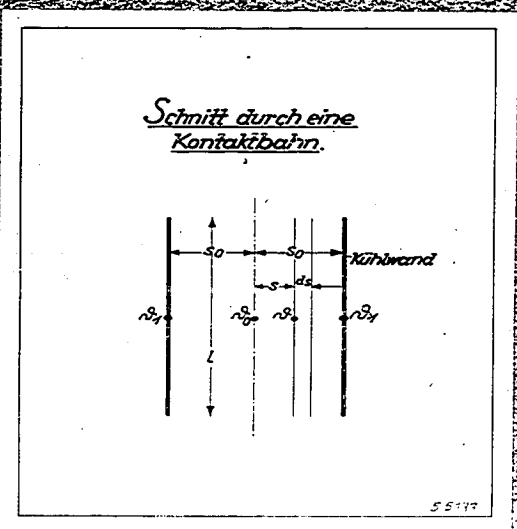


Abb. 7 Schnitt durch eine Kontaktfläche.

Es wird in allen Fällen angenommen, daß die Oberflächentemperatur der Kühlwände konstant ist.

Die im Volumenelement $dV = ds \cdot L$ erzeugte Wärme ist dann:

$$dQ = \gamma \cdot L \cdot ds \quad (1)$$

Die Wärme dQ' , die aus dem Inneren des Volumenelementes zugeführt wird, ergibt sich zu:

$$dQ' = -\lambda \cdot L \cdot \frac{d\theta}{ds} \cdot ds \quad (2)$$

Die Wärme dQ'' , die aus dem Volumenelement abstrahlt, ist:

$$dQ'' = -2 \cdot L \cdot \frac{d\theta}{ds} \cdot ds = -2 \cdot L \cdot \left(\frac{d\theta}{ds} \right) \cdot ds \quad (3)$$

Die in Kontaktmittelebene erhaltene Wärme beträgt:

$$Q = \lambda \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} \cdot dx \quad (4)$$

Aus Gleichung 3 und 4 ergibt sich:

$$\lambda \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} = -\lambda \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} \cdot \frac{a}{2} + \lambda \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} \cdot \frac{a}{2} \quad (5)$$

$$\lambda \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} = \lambda \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} \cdot \frac{a}{2} \quad (6)$$

Die Integrationskonstante C_1 ergibt sich durch Einsetzen der Grenzbedingung:

$$\text{für } x = 0 \text{ wird } \frac{dT}{dx} = 0, \text{ und damit } C_1 = 0$$

$$C_1 = 0 \quad (7)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{a}{2} \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (8)$$

$$\text{für } x = a \text{ erhält man } \frac{dT}{dx} = \frac{a}{2} \cdot \frac{d^2 T}{dx^2}$$

Die Integrationskonstante C_2 wird also:

$$C_2 = \frac{a}{2} \cdot \frac{dT}{dx} \cdot \frac{a}{2} \quad (9)$$

Gleichung 9 in 8 eingesetzt ergibt:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{a}{2} \cdot \frac{dT}{dx} \cdot \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} - x \right) \quad (10)$$

Die Maximaltemperatur T_0 erhält man für $x = 0$ und damit wird:

$$T_0 = \frac{a}{2} \cdot \frac{dT}{dx} \cdot \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} - 0 \right) \quad (11)$$

Setzt man $(T_0 - T_1) = \Delta t$ der zulässigen Temperaturdifferenz so ergibt sich der halbe Plattenabstand zu:

$$a_0 = 1.414 \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{a}} \quad (12)$$

oder die auftretende Temperaturdifferenz in der Kontaktschicht ist:

$$\Delta t = \frac{a_0^2}{2} \cdot \frac{a}{\lambda} \quad (13)$$

1. Der Kontakt des Rohres mit der äußeren Luft, das von Kühlungsmitteln umgeben ist.
Äußere Kontaktfläche

2. Die innere Kontaktfläche des Rohres mit dem
 Medium des Rohres, in dem

Die Bezeichnung der übrigen Größen ist wie unter 1. gewählt worden.

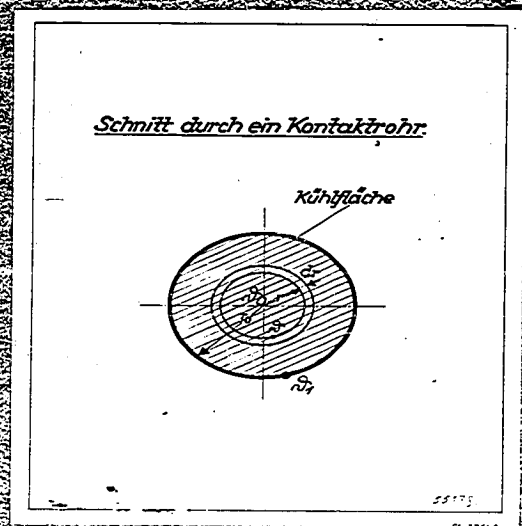


Abb. 1 Schnitt durch ein Kontaktrohr.

Die in einem Volumenelement erzeugte Wärme ist:

$$dQ = \lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{d\theta}{dr} \quad (14)$$

Die Wärme, die aus dem Inneren des Rohres dem Volumenelement zugeführt wird, ist:

$$dQ' = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{d\theta}{dr} \quad (15)$$

und die Wärme, die aus dem Volumenelement abströmt,

$$dQ'' = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{d\theta}{dr} - \lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{d(\theta_1 - \theta)}{dr} \quad (16)$$

Die in Volumenelement erzeugte Wärme ist dann:

$$dQ = dQ' - dQ'' \quad (17)$$

$$2 \cdot r \cdot \pi \cdot dr = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \left\{ r - \frac{d \cdot r^2}{2r} \right\} \cdot dr \quad (18)$$

oder in Gleichung 14 eingesetzt:

$$2 \cdot r \cdot \pi \cdot dr = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \left\{ r - \frac{d \cdot r^2}{2r} \right\} \cdot dr \quad (19)$$

$$2 \cdot r \cdot dr = -\lambda \cdot d \cdot \left(r - \frac{d \cdot r^2}{2r} \right) \quad (20)$$

$$2 \cdot \frac{dr}{r} = -\lambda \cdot d \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{d \cdot r}{2} \right) + C_1 \quad (21)$$

Die Integrationskonstante C_1 erhält man durch Einsetzen der Grenzbedingung

für $r = 0$, wird $\frac{d \cdot r^2}{2r} = 0$, folglich $C_1 = 0$

Es wird also:

$$\frac{2}{r} = -\lambda \cdot d \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{d \cdot r}{2} \right) \quad (22)$$

$$\frac{2}{r} = -\lambda \cdot d \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{d \cdot r}{2} \right) \quad (23)$$

für $r = 0$ wird $\frac{d \cdot r^2}{2r} = 0$, folglich $C_1 = 0$

$$C_1 = \frac{2}{r} + \lambda \cdot d \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{d \cdot r}{2} \right) \quad (24)$$

Die Temperatur an einer Stelle mit dem Radius r wird dann

$$t = t_0 + \frac{\lambda \cdot d \cdot r^2}{2} \quad (25)$$

Die Maximaltemperatur stellt sich bei $r = 0$ ein, und ergibt sich zu

$$t_{max} = t_0 + \frac{\lambda \cdot d \cdot r_0^2}{2} \quad (26)$$

oder $t_0 = \frac{2(t_{max} - t_0)}{\lambda \cdot d \cdot r_0^2} \quad (27)$

Setzt man $r_0 = r_1 = \Delta$

Der Radius des Kontaktrohres wird dann:

$$r_0 = \Delta = \sqrt{\frac{2(t_{max} - t_0)}{\lambda \cdot d}} \quad (28)$$

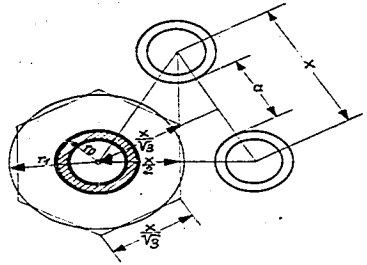
oder die aufsteigende Temperaturdifferenz zwischen Rohrmitte und Wand ist

$$\Delta t = \frac{t_w - t_m}{2}$$

(3)

Der Kontakt ist in einer konzentrischen Schicht um das Kühlrohr angebracht (Aussenkontaktschichten)

Röhrenofen mit dem Kontakt um die von der Kühlflüssigkeit durchströmten Röhre.



55177

Abbildung 7 Röhrenofen mit dem Kontakt um die von der Kühlflüssigkeit durchströmten Röhre

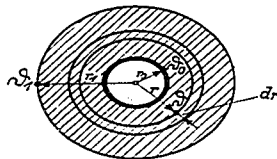
Das Diagramm zeigt die Anordnung der Röhre mit dem Kontakt um die von der Kühlflüssigkeit durchströmten Röhre. Die Röhre ist in einer konzentrischen Schicht um das Kühlrohr angebracht. Die Abstände sind wie folgt beschriftet: 'a' für die Dicke der Kontaktschicht, 'r' für den inneren Radius, 'R' für den äußeren Radius und 'x/s' für den Abstand von der inneren Wand zur Kontaktschicht. Zwei kleinere kreisförmige Diagramme zeigen die Position der Kontaktschicht relativ zum Zentrum der Röhre.

Die Röhre ist in einer konzentrischen Schicht um das Kühlrohr angebracht. Die Abstände sind wie folgt beschriftet: 'a' für die Dicke der Kontaktschicht, 'r' für den inneren Radius, 'R' für den äußeren Radius und 'x/s' für den Abstand von der inneren Wand zur Kontaktschicht.

$$r_1 = \frac{x + \sqrt{x^2 + 2y^2}}{2} = 0,5286 \cdot x \text{ mmilim.}$$

Der Kontaktraum je Rohr erhält damit kreisringförmigen Querschnitt und für diesen vereinfachten Fall gilt die nachstehende Rechnung. Außer den bereits oben angegebenen Bezeichnungen sollen bedeuten:

Kühlrohr mit kreisringförmiger Kontaktschicht



55110

Abb. 10 Kühlrohr mit kreisringförmiger Kontaktschicht.

- r_0 - den äußeren Radius des Kühlrohres, gleich dem inneren Radius der Kontaktschicht bzw.
- r_1 - den äußeren Radius der Kontaktschicht.

$\Delta t = t_1 - t_2$ Temperaturdifferenz in der Kontaktschicht

Die in einem Volumenelement erzeugte Wärme ist dann:

$$dQ = 2 \pi r_1 \cdot dr \cdot q \tag{10}$$

Die Wärme, die aus der Kontaktschicht des Volumenelement abgeführt wird, ist:

$$dQ = 2 \pi r_1 \cdot dr \cdot \frac{q}{\alpha} \tag{11}$$

und die Wärme, die aus dem Volumenelement abstrahlt:

$$dQ'' = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{dn^2}{dr} = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{d\left(r \cdot \frac{dn^2}{dr}\right)}{dr} \cdot dr \quad (32)$$

die im Volumenelement erzeugte Wärme ist:

$$dQ = dQ'' = dQ' \quad (33)$$

$$= -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{d\left(r \cdot \frac{dn^2}{dr}\right)}{dr} \cdot dr \quad (34)$$

oder in Gleichung 30 eingesetzt:

$$2\pi r \cdot dr \cdot q = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot \frac{d\left(r \cdot \frac{dn^2}{dr}\right)}{dr} \cdot dr \quad (35)$$

$$\int q \cdot r \cdot dr = -\int \lambda \cdot r \cdot \frac{d\left(r \cdot \frac{dn^2}{dr}\right)}{dr} \cdot dr \quad (36)$$

$$q \cdot \frac{r^2}{2} = -\lambda \cdot r \cdot \frac{dn^2}{dr} + C_1 \quad (37)$$

für $r = r_1$ wird $\frac{dn^2}{dr} = 0$

damit ergibt sich die Integrationskonstante C_1 zu:

$$C_1 = q \cdot \frac{r_1^2}{2} \quad (38)$$

In Gleichung 37 eingesetzt erhält man:

$$q \cdot \frac{r^2}{2} = -\lambda \cdot r \cdot \frac{dn^2}{dr} + q \cdot \frac{r_1^2}{2} \quad (39)$$

$$\lambda \cdot r \cdot \frac{dn^2}{dr} = \frac{q}{2} \cdot (r_1^2 - r^2) \quad (40)$$

$$\lambda \cdot \int \frac{dn^2}{n^2} = \frac{q}{2} \cdot \int \frac{r_1^2 - r^2}{r} \cdot dr \quad (41)$$

$$\lambda \cdot n^2 = \frac{q}{2} \cdot \left(r_1^2 \cdot \ln r - \frac{r^2}{2} \right) + C_2 \quad (42)$$

Als Grenzbedingung ergibt sich für $r = r_0$ $n^2 = n_0^2$

$$\lambda \cdot n_0^2 = \frac{q}{2} \cdot \left(r_1^2 \cdot \ln r_0 - \frac{r_0^2}{2} \right) + C_2 \quad (45)$$

Die Integrationskonstante ist

$$C_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{d\alpha}{dx} + \frac{1}{\beta} \frac{d\beta}{dx} \right) + \frac{1}{\alpha\beta} \frac{d(\alpha\beta)}{dx} + \dots$$

Die Ableitung der Integrationskonstante ist

$$\frac{dC_1}{dx} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{d^2\alpha}{dx^2} + \frac{1}{\beta} \frac{d^2\beta}{dx^2} \right) + \frac{1}{\alpha\beta} \frac{d^2(\alpha\beta)}{dx^2} + \dots$$

Die Ableitung der Ableitung der Integrationskonstante ist

$$\frac{d^2C_1}{dx^2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{d^3\alpha}{dx^3} + \frac{1}{\beta} \frac{d^3\beta}{dx^3} \right) + \frac{1}{\alpha\beta} \frac{d^3(\alpha\beta)}{dx^3} + \dots$$

$$\frac{1}{\alpha} \frac{d\alpha}{dx} = \frac{1}{\beta} \frac{d\beta}{dx} + \frac{1}{\alpha\beta} \frac{d(\alpha\beta)}{dx} + \dots$$

Die in der Kontaktzone auftretende Temperaturverteilung lautet

$$A = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{1}{\beta} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{d\alpha}{dx} - \frac{1}{\beta} \frac{d\beta}{dx} \right) + \dots \right] \quad (49)$$

aus Gleichung 48 kann dann die Grenzleitfähigkeit des Kontaktbereichs erzeugt Wärme und der Radius des Kühlrohres bekannt ist für eine vorgeschriebene Temperaturdifferenz Δt der äußeren Radius des Kontaktzylinderes und damit die Größe der Kontaktzone $\alpha = r$ durch Probieren gefunden werden. In Gleichung 48 kann sich in Gegensatz zu Gleichung 12 die Platten- und Zylinderform für den Kühlrohren mit dem Kontakt in der Zylinder nicht selbst zeigen.

Die angegebene Formel 48 gilt unter der Voraussetzung, daß der Reaktionsgas parallel zu den Kühlrohren strömt. Ist der Fall, daß die Reaktionsgas recht zu den Kühlrohren strömt, dann ist die Grenzleitfähigkeit, die das Gas von der kalten Wand durch die kalte Zone hindurchfließen muß, die kalte Wand fließt und damit zusätzlich Wärme aus dem Reaktionsraum des ausströmt. Beachtenswert ist dieser Fall jedoch nicht zu erfassen und kann höchstens durch Zuschläge zu dem nach Gleichung 48 errechneten Kühlrohrabstand erfasst werden.

Setzt man in Gleichung 48 $r_1 = r_0 + s_0$ wobei s_0 die Breite der Kontaktschicht ist, so ergibt sich:

$$\frac{4 \cdot \lambda \cdot \Delta t}{q} = (r_0 + s_0)^2 \cdot \left(2 \cdot \ln \frac{r_0 + s_0}{r_0} - 1 \right) + r_0^2 \quad (50)$$

oder

$$\frac{4 \cdot \lambda \cdot \Delta t}{q} = \left[2 r_0^2 \cdot \ln \frac{r_0 + s_0}{r_0} - 2 r_0 \cdot s_0 \right] + \left[4 r_0 \cdot s_0 \cdot \ln \frac{r_0 + s_0}{r_0} \right] + \left[2 s_0^2 \cdot \ln \frac{r_0 + s_0}{r_0} \right] - s_0^2 \quad (51)$$

für $r_0 = \infty$ erhält man:

$$\lim_{r_0 \rightarrow \infty} \frac{4 \cdot \lambda \cdot \Delta t}{q} = -s_0^2 + 4 \frac{s_0^2}{2} + 0 - s_0^2 \quad (52)$$

$$\text{oder } \lim_{r_0 \rightarrow \infty} s_0 = 1,414 \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot \Delta t}{q}} \quad (53)$$

d.h. für ein unendlich großes Kühlrohr geht Gleichung 48 über in die Gleichung 12 für die Kontaktanordnung zwischen parallelen ebenen Flächen.

Das Kontakt befindet sich zwischen zwei kreisförmigen equidistanten Kühlflächen (Ringraumofen).

Wenn man den Katalysator in einem Kreisringquerschnitt mit äußerem und innerem Kühlfläche abordnet, kann man den Kontaktzonen in zwei Zonen von der Breite $(r_1 - r_0)$ und $(r_2 - r_1)$ einteilen. Abb. 11. Aus der inneren Zone fließt die Wärme gegen das innere Kühlrohr. Diese Zone stellt praktisch einen Außenkontaktrohrnofen mit einem Kühlrohr vom Radius r_0 und einer Kontaktzonenbreite $(r_1 - r_0)$ dar. Die Berechnung kann nach der für den Außenkontaktrohrnofen abgeleiteten Gleichung erfolgen. Die zweite Zone von der Breite $(r_2 - r_1)$ gibt die Wärme an das äußere Kühlrohr ab.

Schnitt durch ein Element des Ringraumofens.

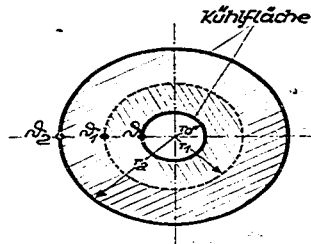


Abb. II Schnitt durch ein Element des Ringraumofens.

Mit den gleichen Bezeichnungen wie in den früheren Ableitungen und dem Radius r_2 für das äußere Kühlrohr erhält man für die äußere Zone die Beziehung

$$r_1^2 = (2 \cdot \ln \frac{r_1}{r_2} - 1) \cdot r_2^2 = \frac{q \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot l}{g} \quad (53)$$

oder der zulässige Temperaturunterschied Δt ist:

$$\Delta t = \frac{q}{\pi \cdot l} \sqrt{r_1^2 - (2 \cdot \ln \frac{r_1}{r_2} - 1) \cdot r_2^2} \quad (54)$$

Mit Hilfe von Gleichung 54 kann man die Abmessungen der äußeren Zone, mit Gleichung 48 diejenigen der inneren Zone des Ringraumofens berechnen und durch Addition der beiden Werte die gesamte Breite $r_2 - r_0$ bestimmen.

Setzt man in Gleichung 53 $r_1 = 0$, so erhält man:

$$r_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{q \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot l}{g}} \quad (28)$$

d.h. die Gleichung geht über in diejenige für das vollständig mit Kontakt gefüllte Rohr des Innenkontaktröhrenofens.

IV. Diskussion

Für die Beurteilung der einzelnen Bauformen stehen demnach folgende Gleichungen zur Verfügung:

Plattenofen $s_0 = 1,414 \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot \Delta t}{q}} \quad (12)$

Innenkontaktröhrenofen $r_0 = 2 \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot \Delta t}{q}} \quad (28)$

Außenkontaktröhrenofen

$$r_1^2 \cdot \left(2 \ln \frac{r_1}{r_0} - 1 \right) + r_0^2 = \frac{4 \cdot \lambda \cdot \Delta t}{q} \quad (15)$$

Ringraumofen

Innere Zone $r_1^2 \cdot \left(2 \ln \frac{r_1}{r_2} - 1 \right) + r_2^2 = \frac{4 \cdot \lambda \cdot \Delta t}{q} \quad (16)$

Außere Zone $r_2^2 \cdot \left(2 \ln \frac{r_2}{r_1} - 1 \right) + r_1^2 = \frac{4 \cdot \lambda \cdot \Delta t}{q} \quad (17)$

A. Vergleich einzelner Kontaktbännen

a. Gleichwertige Kontaktbauanordnungen

Setzt man in jede dieser Gleichungen für λ , q und Δt die selben Werte ein, so erhält man für die Kontaktbännen Abmessungen, die einander gleichwertig sind.

Temperatureffile herrscht. Für angenommene Werte von λ , q und Δt wurden der Kühltischenschnitt des Plattenofens, der Innenseite eines Rohres mit Innenkontakt, die Kontaktbaueinheit eines Rohres mit Außenkontakt und die Ringraumseite einer zwischen zwei konzentrischen Kühlrohren gelagerten Katalysatorbank berechnet und in Abb. 12 eingetragen. Als Überstreu wurde der mittlere Durchmesser des Rohres mit Innenkontakt gewählt und als Durchmesser der rüber die gleichwertigen Abmessungen der anderen Bauformen aufgetragen. Dabei wurde angenommen, daß das Kühlrohr mit Außenkontakt und das innere Kühlrohr für die Ringraumordnung des Katalysators jeweils die gleichen Abmessungen haben sollen wie das Rohr mit dem Innenkontakt.

Wie aus der Gegenüberstellung von Gleichung 12 mit Gleichung 28 ohne weiteres zu ersehen ist, verhält sich der Durchmesser des Rohres mit Innenkontakt zum Kühlflächenbetand des Plattenofens wie 2 : 1,41. Infolgedessen ergibt sich für den Plattenabstand in Abb. 12

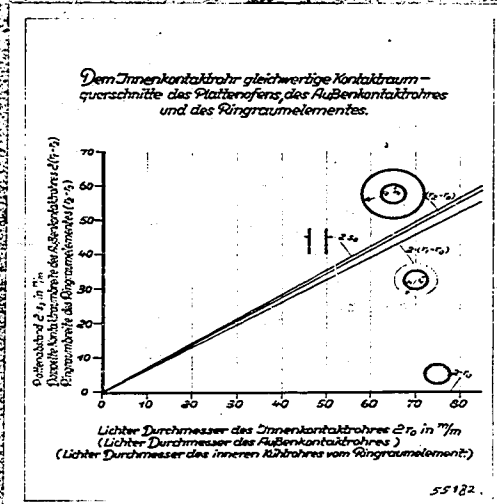


Abb. 12 Dem Innenkontaktrrohr gleichwertige Kontaktraum-
querschnitte des Plattenofens, des Außenkon-
taktröhres und des Ringraumelementes

eine gerade Linie mit dem \tan des Neigungswinkels $\frac{1}{1,41}$.
Die doppelte Kontaktflächenbreite $2 \cdot r_0$ aus Gleichung 18 für das
Rohr mit Innenkontakt ergibt ebenso $2 \cdot r_0$ als die doppelte
Plattenabstand $2 \cdot s$ und ist daher nur die doppelte Kontaktflächenbreite
nach Gleichung 12 unter der Bedingung für den Plattenabstand.
In die gleiche Abb. 12 noch die Ringraumbreite r_0 bei Anordnung
des Katalysators zwischen zwei konzentrischen Kühlrohren eingetragen.
Die Werte, die ebenfalls fast geradlinig mit dem Durchmesser ansteigen,
in Relationen sind nur ganz wenig vom Wert des Kühlflächenbetandes beim
Plattenofen abh. Das obere Linien für ein Rohr mit Innenkontakt des selbe-
rigen Kontaktröhres r_0 ist zu sehen, es steigt nur um den gleichen Temp. -

Es ist in der Kontaktschicht zu erhalten, einen Flächenwert mit dem Abstand der Platten ein Rohr von 10 mm mit Außenkontakt und einer Kontaktbreite ($r_1 - r_2$) = 5,4 mm und ein Ringraumelement mit einem Ringraumdurchmesser von 5,4 mm bei einem inneren Rohrdurchmesser von 10 mm ausführen.

Bei den ganzen Untersuchungen wurden normale Siederröhren der Berechnung zugrunde gelegt.

2. Kühlflächenvergleich

Mit den aus den Gleichungen 12, 28, 48 u. 53 ermittelten Abmessungen der verschiedenen Querschnittsformen wurden die für 1 m² Kontakt sich ergebenden Kühlflächen errechnet und miteinander verglichen. Das Ergebnis ist in Abb. 13

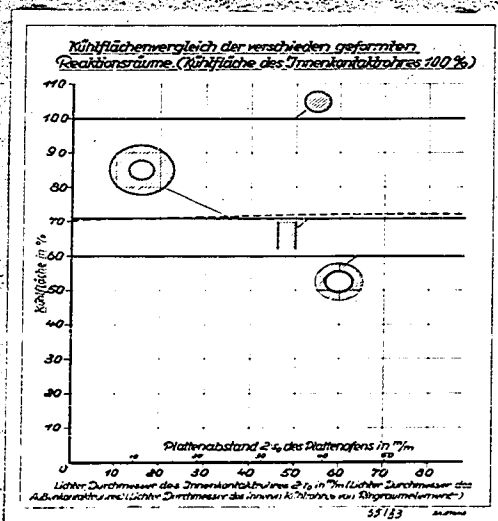


Abb. 13 Kühlflächenvergleich der verschieden geformten Reaktionsräume.

für die verschiedenen Bauarten aufgetragen. Als Abszisse wurde wahlweise der lichte Rohrdurchmesser vom Innenkontaktrrohr, vom Außenkontaktrrohr und vom inneren Rohr des Ringraumelementes bzw. der Plattenabstand der

Die Kühltrommel besteht aus einem zylindrischen Gehäuse, das in zwei Hälften geteilt ist. Die innere Hälfte ist als Kühltrommel ausgeführt, die die äußere Hälfte als Reaktionsraum dient. Die Kühltrommel ist durch eine Dichtung mit dem Reaktionsraum abgedichtet. Die Kühltrommel ist durch eine Dichtung mit dem Reaktionsraum abgedichtet. Die Kühltrommel ist durch eine Dichtung mit dem Reaktionsraum abgedichtet.

Die Kühltrommel ist durch eine Dichtung mit dem Reaktionsraum abgedichtet. Die Kühltrommel ist durch eine Dichtung mit dem Reaktionsraum abgedichtet. Die Kühltrommel ist durch eine Dichtung mit dem Reaktionsraum abgedichtet. Die Kühltrommel ist durch eine Dichtung mit dem Reaktionsraum abgedichtet.

B. Vergleich von Reaktionsformen

a) Kühltrommelbedarf der verschiedenen Reaktionsformen

Die Kühltrommelbedarf der verschiedenen Reaktionsformen wird nun verglichen. Betrachtet man die Kühltrommelbedarf der verschiedenen Reaktionsformen, so ergibt sich für den Innentrommelbedarf, den Innentrommelbedarf und den Innentrommelbedarf praktisch einverleiblich mit dem Innentrommelbedarf. Beim Außentrommelbedarf kann, wie auf Seite 23 zu sehen, die Entfernung s zwischen zwei Kühltrommel nicht gleich der rechnerisch nach Gleichung 45 ermittelten doppelten Kontaktweite $2 \cdot (r_1 - r_2)$ sein. Nach Abb. 9 ist die Mittenentfernung zweier Kühltrommel

$$x = 2 \cdot r_1 + a \quad (55)$$

und damit
$$a = 2 \cdot \left(\frac{x}{2} - r_1 \right) \quad (56)$$

Der nach Gleichung 45 ermittelte Wert r_1 für den äußeren Radius der

einzelnen Kontaktrohres $r_1 - r_0$ als $r_1 - r_0$ kleiner werden, als
 der Rohrabstand a nach Gleichung 56 zu erhalten.

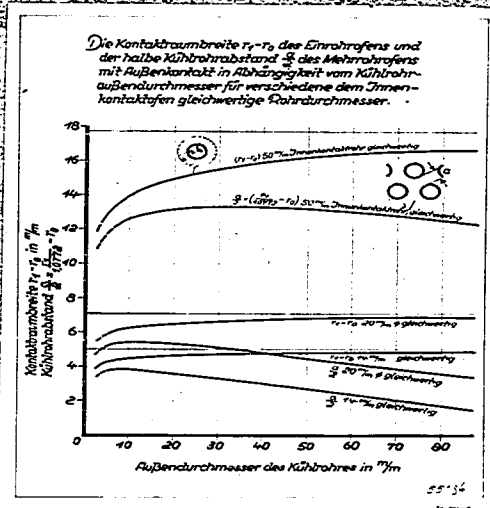


Abb. 14 Die Kontaktraumbreite $r_1 - r_0$ des Einrohrrofens und der halbe Kühlrohrabstand $\frac{a}{2}$ des Mehrrohrrofens mit Außenkontakt in Abhängigkeit vom Kühlrohräußerdurchmesser für verschiedene, dem Innenkontaktofen gleichwertige Rohrdurchmesser.

In Abb. 14 sind die Werte für die Kontaktraumbreite eines einzelnen Rohres mit Außenkontakt nach Gleichung 48 und die reduzierten Werte für den halben Abstand zweier Kühlrohre nach Gleichung 56 eingetragen und zwar für 5 Fälle, in denen der Außenkontaktröhrenofen einem Innenkontaktröhrenofen mit 14 mm, 20 mm und 50 mm Rohren gleichwertig ist. Als Abszissenmaßstab wurde der Außendurchmesser des von Kontakt umgebenen Kühlrohres gewählt.

Die Kontaktraumbreite ($r_1 - r_0$) eines einzelnen Rohres steigt, wie aus Abb. 14 zu ersehen ist, mit zunehmendem Kühlrohrdurchmesser an, um sich asymptotisch dem Wert für den Flattenofen zu nähern, der bei

erzielt wird. Dagegen nimmt der Wert für die halbe Rohr-
entfernung $\frac{a}{2} = \frac{2}{1,0772} = 1,857$ für den Außenkontaktröhrenofen mit stetig-
gehendem Rohrdurchmesser zuerst zu, dann aber wieder ab. Dies ist darauf
zurückzuführen, daß der Unterschied zwischen dem Radius r_1 und der hal-
ben Rohr Entfernung $\frac{a}{2}$ (Siehe Abb. 9) mit zunehmendem Rohrdurchmesser
immer größer wird. $\sqrt{3}$

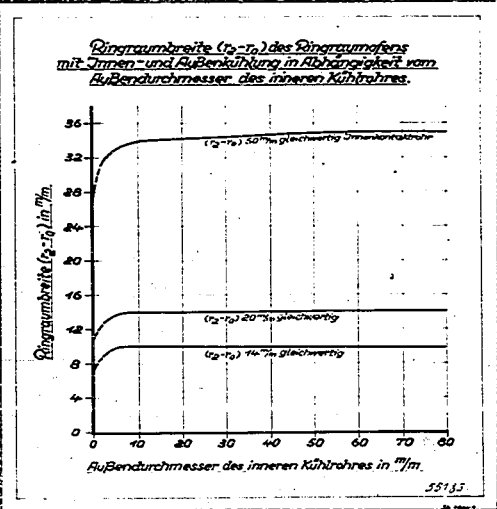
Die vereinfachte Annahme, daß man den sechseckigen Kontaktquerschnitt
näherungsweise in einen kreisförmigen umwandeln kann, gilt um so weni-
ger, je größer man den Kühlrohrdurchmesser wählt, und je strenger die
Temperaturbedingungen sind, d.h. je kleiner der Absolutwert für den
Rohrabstand ist oder je kleiner der Durchmesser des Innenkontaktröhres
ist, den der Außenkontaktröhrenofen gleichwertig sein soll.

Ein Ofen mit Außenkontakt, der eine gleich gute Wärmeabfuhr hat, wie
ein 50 mm Röhrenofen mit Innenkontakt, muß bei Anwendung von Kühlroh-
ren mit 40 mm Außendurchmesser einen Rohrabstand von $2 \cdot \frac{a}{2} = 2 \cdot 13,7$
mm haben, während man bei Verwendung von 10 mm Kühlrohren einen Rohr-
abstand von $2 \cdot 12,6$ mm wählen muß. Die entsprechenden Werte des Ein-
rohrrofens mit Außenkontakt sind gleichfalls aus Abb. 14 zu entnehmen
und betragen

$$2 \cdot (r_1 - r_0) = 2 \cdot 14,9 \text{ bzw. } 2 \cdot 13,9 \text{ mm.}$$

Man sieht aus Abb. 14, daß der Unterschied zwischen $(r_1 - r_0)$ und
 $\frac{a}{2}$ um so geringer wird, je kleiner man den Durchmesser des Kühlrohres
wählt. Es erscheint also schon nach diesen Betrachtungen als zweckmäßig,
einen Außenkontaktofen mit möglichst kleinen Kühlrohren auszurüsten.

In Abb. 15 wurde abhängig vom Außendurchmesser des inneren Kühlrohres
für einen Ringraumofen die Ringraumbreite aufgetragen und zwar wieder
für die 3 Fälle, daß der Ringraumofen einen Innenkontaktröhrenofen mit
14, 20 und 50 mm lichten Durchmesser gleichwertig sein soll.



(The following text is extremely faint and largely illegible due to the quality of the scan. It appears to be a technical description or caption related to the graph above.)

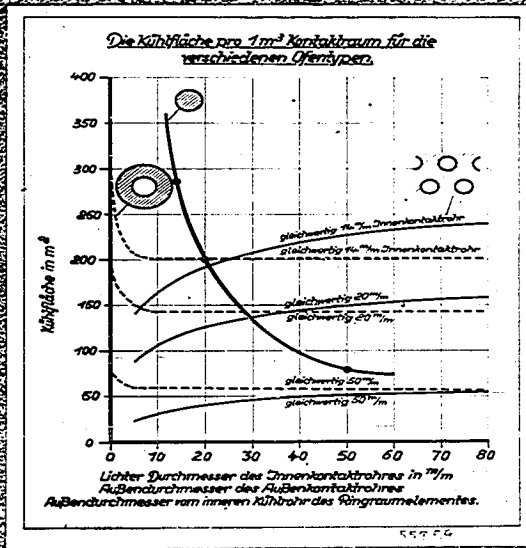


Abb. 10. 100% Kühleffektivität über 1 m³ Kontaktraum für die verschiedenen Ofentypen.

Als Beispiel ist in Abb. 10 ein Beispiel der Abmessungen des Kühlrohres vom Außenkontaktröhren für die Größe des inneren Kühlrohres vom Ringraum Ofen mit dem Durchmesser des inneren Kontaktröhres gewählt, während die Ordinate der Kühlfläche pro 1 m³ Kontaktraum genommen wurde.

Der 10 mm Innenkontaktröhrenofen hat 200 m² der 20 mm Innenkontaktröhrenofen hat 200 und der gleiche Ofen mit einem von 40 mm 1,0 mal 80 m² Kühlfläche pro 1 m³ Kontakt und in die gleiche Abb. sind 3 Kurven für den Außenkontaktröhrenofen angegeben mit der gleichwertig dem 10 mm, 20 mm und 30 mm Innenkontaktröhrenofen. In allen 3 Fällen nicht die Kühlfläche mit steigendem Durchmesser des Kühlrohres stark zu, bleibt aber immer unter dem Wert der entsprechenden gleichwertigen Innenkontaktröhrenofens. Der Kühlrohrdurchmesser ist also beim Außenkontaktröhrenofen so geringe, da dieser mit dem Durchmesser wächst, der benötigt, wenn man einen Ofen mit dem inneren Ofen gleichwertigen Außenkontaktröhrenofen konstruieren will. Beispielsweise bei dem Innenkontaktröhrenofen 100 mm bei 20 mm Durchmesser vom inneren Kühlrohr 100 m².

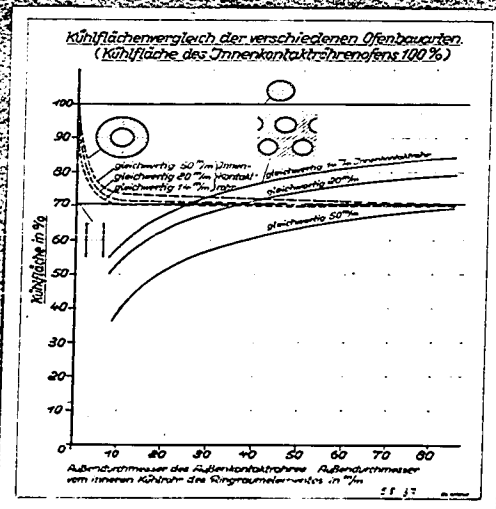


Abb. 27 Kühlflächenvergleich der verschiedenen Ofenbauten (Kühlfläche des Innerkontaktpfeifens 100%)

Das Diagramm zeigt die Wirkung des ... wie in Abb. 11 ...

Das Diagramm zeigt die Wirkung des ... wie in Abb. 11 ...

Das Diagramm zeigt die Wirkung des ... wie in Abb. 11 ...

In das gleiche Diagramm wurde noch der Kuhlflächenbedarf des Platzenofens mit ...

b. Raumnutzung der verschiedenen Bauarten.

Ein weiteres Kennzeichen für die Beurteilung eines Reaktionsofens ist die Ausnutzung des unbauten Raumes. Dabei wurde bei der folgenden Betrachtung der unbauter Raum so definiert, daß er Kontakt plus Kuhlflächen plus darin eingeschlossene ...

Es wurde ferner beim Innenkontaktschmelzofen ebenso wie beim Ringraumofen angenommen, daß der Abstand der in die Röhren eingeschweißten Rohre gleich drei mal deren Wandstärke ist. In Abb. 18 ist der Kontakt...

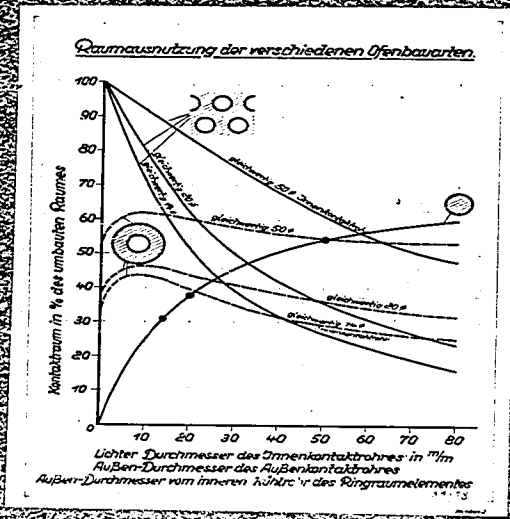


Abb. 18. Raumausnutzung der verschiedenen Ofenbauarten

Bei Innenkontaktröhrenofen steigt die Raumausnutzung mit dem Rohrdurchmesser von 20 mm auf 50 mm. Bei Rohrdurchmesser 50 mm ist durch andere Bauanordnung bzw. durch Einschneiden der Rohre mit geringeren Abständen eine Verbesserung bei kleiner Rohrdurchmesser ohne Verbesserung zu erzielen. Jedoch würden beim mit zunehmendem Rohrdurchmesser die Schwierigkeiten für die Wärme- bzw. Luftführung auf der Kühltürseite.

Bei Außenkontaktröhrenofen weist einen um so größeren Prozentsatz des umbauten Raumes mit Kontakt gefüllt auf je kleinere Kühltür man verwendet für den Rohrdurchmesser 0 erreicht man den Wert 100%. Praktisch lassen sich auch kleinere Kühltüre als 10 mm Ø verwenden, sobald sich die Schwierigkeiten nicht einstellen. Besondere Beachtung muss dieser Raumausnutzung zu so günstiger, je weniger temperaturempfindlich die Kühltür ist. Bei der Ofen einer Innenkontaktröhrenofen von 50 mm gleich.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records and the role of the auditor in this process. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting. The second part of the document details the specific procedures and methods used to collect and analyze data, ensuring that the information is reliable and valid. The final part of the document provides a summary of the findings and conclusions, highlighting the key areas of concern and the recommendations for improvement.

The following table provides a detailed breakdown of the data collected during the audit process. It includes information on the number of transactions, the total amount, and the percentage of transactions that were found to be in compliance with the relevant regulations. The data shows that while there are some areas of non-compliance, the overall majority of transactions are in line with the required standards. The table also identifies the specific areas where non-compliance occurred, allowing for a more targeted approach to addressing these issues.

[Handwritten signature]