

Ruhrchemie Aktiengesellschaft Oberhausen-Holten	000367	Hauptlaboratorium
		Tr/Se.
Datum: 20. August 1943	Seite 1	

7 21 3448 - 30/501 - 82 B

Kalkulation für die Äthylen-Anlage Watenstedt

Nach den uns von Herrn Dr. Bayer Lurgi übermittelten Angaben sollen in der Äthan-Spaltanlage Watenstedt täglich 30 t Gas umgesetzt werden. Das Gas besteht in Vol. % aus

C ₂ H ₆	93,8
C ₂ H ₄	5,0
C ₃ - u. C ₄ -K.W.	1,2

Das Gas soll vollständig umgesetzt werden, d.h. das bei der normalen Umsetzung nicht erfaßte Äthan soll im Kreislauf aus einer Linde-Zerlegungsanlage der Äthan-Spaltanlage wieder zugeführt werden.

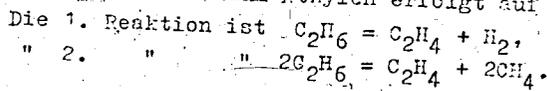
In der Anlage der Chemischen Fabrik Holten werden in zwei Ofenpaaren je 500 n-cbm C₂H₆ pro Stunde umgesetzt bei einem Durchmesser der Einzelöfen von 1 120 mm im eigentlichen lichten Plattenraum. Das dort eingesetzte Gas hat folgende Zusammensetzung:

C ₂ H ₆	95,3
C ₂ H ₄	3,3
C ₃ H ₆	1,0
CO	0,4

Das in Holten erhaltene Endgas weist folgende, auf Luftfreiheit gerechnete Analyse auf:

C ₂ H ₆	46,1
C ₂ H ₄	24,0
C ₃ H ₆	0,8
CO	0,8
H ₂	18,2
CH ₄	8,0
N ₂	2,1

Die Umsetzung des Äthans zum Äthylen erfolgt auf zwei Weisen:



Das Verhältnis, in dem die beiden Reaktionen eintreten, bestimmt die Zusammensetzung des Endgases. Bei der Errechnung dieser Zusammensetzung muß selbstverständlich auch noch der Betriebsverlust eingesetzt werden, der nach den Beobachtungen der Chemischen Fabrik Holtten ca. 6 % des Einsatzes beträgt. Wir werden aber auf den Punkt Betriebsverlust gleich noch eingehend zurückkommen. Setzen wir für die Errechnung der Reaktion 25 % nach der Gleichung $C_2H_6 = C_2H_4 + H_2$, 12 % nach der Gleichung $2C_2H_6 = C_2H_4 + 2CH_4$ und 6 % Verluste ein, so ergibt sich aufgrund der Zusammensetzung des Watenstedt-Gases folgende Zusammensetzung des Endgases: Im ganzen werden 43 % des C_2H_6 einschließlich Verluste zum Verschwinden gebracht. Folglich ist der Gehalt des Endgases an den einzelnen Bestandteilen folgender:

C_2H_6	unumgesetzt	$0,57 \cdot 93,8$	$53,5 \text{ m}^3$	43,4 %
C_2H_4	unumgesetzt	-	$5,0 \text{ m}^3$	
	nach Gl. I	$0,25 \cdot 93,8$	$23,4 \text{ m}^3$	
	nach Gl. II	$\frac{0,12 \cdot 93,8}{2}$	$5,6 \text{ m}^3$	
			$34,0 \text{ m}^3$	27,6 %
CH_4		$0,12 \cdot 93,8$	$11,2 \text{ m}^3$	9,1 %
H_2		$0,25 \cdot 93,8$	$23,4 \text{ m}^3$	19,0 %
C_3 - u. C_4 K.w.			$1,2 \text{ m}^3$	0,9 %

Die Expansion errechnet sich zum 1,23-fachen des Einsatzes. Rechnet man auf denselben Kohlenoxyd- und Stickstoffgehalt wie er bei den Gasen der Chemischen Fabrik Holtten auftritt, so ergibt sich die Zusammensetzung des Gases folgendermaßen:

C_2H_6	42,1
C_2H_4	26,8
CH_4	8,8
H_2	18,5

Datum: 20. August 1943 — Seite 3

C ₃ u. C ₄	0,9
CO	0,8
N ₂	2,1

Man sieht, daß die Zusammensetzung mit der bei der Chemischen Fabrik Holten beobachteten Zusammensetzung recht gut übereinstimmt, d.h. die Umsetzung des Äthans zu Äthylen erfolgt beim normalen Durchgang zu ungefähr 37 %, wobei etwa 2/3 unter Wasserstoff- und 1/3 unter Methanabspaltung sich umsetzt.

Zu den 6 % Verlusten ist folgendes zu sagen: Die Verluste können auf zwei Weisen entstehen. Entweder können durch Undichtigkeiten von Ventilen Gase entweichen oder es können in dem Steinmaterial des Ofens Gasreste bleiben, die von der Spülung nicht erfaßt werden. Nach Angabe der Chemischen Fabrik Holten werden für die Umsetzung von 500 n-m³ Äthan 150 - 175 m³ Heizgas von 4 700 WE/m³ gebraucht. Wie unsere weitere Durchrechnung ergibt, ist diese Zahl ca. 20 - 30 % niedriger als man sie nach sorgfältiger Überlegung erwarten sollte. Leicht erklärbar wird aber die Erniedrigung, wenn man annimmt, daß ein Teil des in den Umsetzungsgasen nicht wiedergefundenen Äthans in dem Ofen verbleibt. Wie später noch näher dargelegt, setzt sich das gesamte Ofenvolumen zusammen aus ca. 0,3 m³ unterhalb der Steinzone, 3,32 m³ freiem Raum in der Plattenzone und 1,0 m³ im Kopf. Das ergibt ein gesamtes Ofenvolumen von 4,62 m³. Bei einer mittleren Ofentemperatur von 500° entspricht das einem n-m³-Gehalt von 1,63 m³. Würde von dieser Menge 1/5 durch ungenügende Ausspülung in den Platten des Ofens verbleiben, so würde bei 30-fachem Ofenwechsel ca. 10 m³ Äthanverlust entstehen, die etwa 30 m³ Heizgas von 4 700 WE gleichkommen würden. Da von der Chemischen Fabrik Holten 150 - 175 m³ angegeben sind, theoretisch sich aber 200 m³ errechnen, so sieht man, daß ein Teil der sogenannten Äthanverluste in Form von Heizwärme dem Ofen nutzbar gemacht wird. Die 10 m³ würden 2 % des eingesetzten Äthans, da in der Stunde pro Ofenpaar 500 m³ eingesetzt werden, entsprechen. Damit

Datum: 20. August 1943

Seite 4

würden nur noch 4-% Verluste für undichte Ventile etc. verbleiben. Die durch Teer- und Benzolbildung entstehenden Äthanverluste sind verhältnismäßig klein. Pro m^3 Einsatzgas werden 12 g Benzol und etwa 1 g Teer gebildet, d.h. etwa 1 % des Äthans wandelt sich in diese Produkte um, sodass für die Chemische Fabrik Holtens noch etwa 3 % reelle Verluste bleiben. Diese dürften durch geeignete Ventilkonstruktion verhältnismäßig leicht zu vermeiden sein. Die bei der Spülung auftretenden Verluste dürften nur unter wesentlicher Heraufsetzung der Spülzeit vermeidbar sein, d.h. man wird mit ihnen reell rechnen müssen. Um aber im Heizgasverbrauch sicher zu gehen, haben wir im Nachfolgenden bei der Durchrechnung der Wärmebilanz darauf verzichtet, diese etwa 20 % der gesamten Heizwärme betragende Verbrennungswärme einzusetzen.

Zur Errechnung der gesamten Einsatzmenge bei vollem Umsatz der zur Verfügung stehenden 30 t Gas ergibt sich das Kreislaufverhältnis unter Zugrundelegung von 37 % wirklichem Umsatz und 6 % Verlust pro Einsatz = 43 % Gesamtäthanverbrauch zu $1 : 0,43 = 2,32$. Das Litergewicht des eingesetzten Gases beträgt 1,341, demnach entsprechen die 30 t Gas $22.400 m^3$. Bei 2,32-fachem Kreislauf beträgt also der Einsatz $52.000 m^3$ /Tag oder $2.160 m^3$ /Std. Die Endgasmenge, errechnet mit dem oben genannten Faktor von 1,23, beträgt $2.660 m^3$. Hierbei sind 6 % Verlust einkalkuliert. Die Gesamtbenzolmenge pro Stunde wird bei 26 - 30 kg liegen, die Teermenge bei 2 - 3 kg. Der freie Ofenquerschnitt bei Verwendung von vier Öfen für die Gesamtgasmenge errechnet sich unter Zugrundelegung der Werte der Chemischen Fabrik Holtens folgendermaßen: Bei der Chemischen Fabrik Holtens werden in einem Ofen von 1.120 mm Durchmesser = $0,985 m^2$ Querschnitt $250 m^3$ Gas/Std. umgesetzt. In der Anlage Watenstedt sollen $2.160 m^3$ Gas/Std. eingesetzt werden. Bei vier Öfen wären also $540 m^3$ Gas/Std. pro Ofen durchzusetzen. Bei Vergrößerung des Querschnittes im Verhältnis von 250 : 540 ergibt sich dann der erforderliche Ofenquerschnitt zu $2,12 m^2$ oder der Durchmesser zu 1.640 mm. Da der Ofen in Holtens fraglos eine Kleinigkeit überlastet ist,

Datum: 20. August 1943

Seite 5

würden wir vorschlagen, die Watenstedter Ofen mit 1 700 mm Durchmesser = $2,27 \text{ m}^2$ Querschnitt auszubilden.

Bevor auf die eigentliche Wärmeberechnung des Ofens eingegangen wird, soll der Arbeitsrhythmus fixiert werden. Der gesamte Schaltzyklus beträgt zwei Minuten. Er teilt sich folgendermaßen auf:

Heizung	45	Sek.
Schalten	1	"
Dampfblasen	5,5	"
Schalten	1	"
Reaktion	60	"
Schalten	1	"
Dampfspülen	5,5	"
Schalten	1	"
Gesamtzyklus	120	Sek.

Der Gesamtheizgasverbrauch setzt sich zusammen aus:

- a) dem Verbrauch für Vorwärmung und Reaktion des Äthans,
- b) den Strahlungsverlusten des Ofens,
- c) den Wärmemengen, die für die Aufheizung des Spüldampfes verbraucht werden,
- d) den Rauchgasverlusten.

Der Wärmeverbrauch für die Reaktion errechnet sich aus den molekularen Verbrennungswärmen von Äthan = 372,8, Wasserstoff = 68,3, Äthylen = 337,3 und Methan = 212,8 für die 1. Reaktion $\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$ zu 32,8 Kalorien/Mol. Äthan, oder bei einem Mol. Volumen des Äthans von 22,16 zu $1\,480 \text{ WE/m}^3$ Äthan; für die 2. Reaktion $2\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{CH}_4$ ergibt sich die Umsetzungswärme zu 8,65 Kalorien/Mol. oder zu $390 \text{ WE/m}^3 \text{ C}_2\text{H}_6$.

Für die Aufheizung sind folgende mittlere spezifische Wärme eingesetzt worden:

Äthan	1,02
Äthylen	0,82
Propylen u. höhere	1,30.

Aus der Gaszusammensetzung errechnet sich für eine Aufheizung des Gases von 20° auf 850° , also um 830° , aufgrund der angegebenen Daten ein Wärmebedarf von 842 WE/m^3 Einsatzgas.

Datum: 20. August 1943

Seite 6

Tr/Se.

Wie oben ausgeführt, werden 540 m^3 Gas pro Stunde und pro Ofen eingesetzt. Bei einem Schaltzyklus von zwei Minuten, d.i. 30 Reaktionen pro Stunde, werden also 18 m^3 Gas pro Reaktion und pro Ofen umgesetzt. Der Wärmebedarf je Ofen und je Reaktion ist also folgender:

Aufwärmung	$18 \cdot 842$	=	15 150 WE
1. Reaktion	$18 \cdot 0,938 \cdot 0,25 \cdot 1 480$	=	6 240 WE
2. Reaktion	$18 \cdot 0,938 \cdot 0,12 \cdot 390$	=	790 WE
	insgesamt		22 180 WE je Reaktion und Ofen.

Bei 30 Reaktionen werden also ca. 670.000 WE/Std. gebraucht.

Für die Abstrahlung wird erfahrungsgemäß eine Wandtemperatur von 300° eingesetzt. Für die Errechnung wurden die in der amerikanischen Literatur bekannt gewordenen Kurven für den Wärmeverlust von Oberflächen benutzt. Aus diesen Tabellen ergibt sich bei einer angenommenen Ofenfläche von 20 m^2 ein Strahlungsverlust von 140 000 WE/Std. und ein Convectionsverlust von 70 000 WE, sodaß die gesamten Wärmeverluste des Ofens 210 000 WE betragen.

Ein weiterer Wärmebedarf tritt durch die Dampfspülung auf. Der freie Querschnitt des Ofens beträgt, wie sich weiter unten ergibt, ca. $0,83 \text{ m}^2$. Bei 4 m Füllungshöhe ist also der freie Raum in der Füllung $3,32 \text{ m}^3$. Dazu kommt noch etwa 300 l freier Raum unterhalb der Ofenfüllung und ca. 1 m^3 Brennraum, sodaß sich der gesamte freie Raum des Ofens zu $4,62 \text{ m}^3$ ergibt. Für die Spülung wird angenommen, daß das 1,5-fache Dampfvolumen, gemessen am Eintrittsstutzen, durchgeleitet werden muß, wobei als Temperatur für den eintretenden Dampf 250° angenommen wird. Pro Spülung gehen durch den Ofen $1,5 \cdot 4,62 = 6,9 \text{ m}^3$ Dampf. Da diese unter 250° gemessen sind, so ist die auf Normalbedingungen umgerechnete Dampfmenge $3,6 \text{ m}^3$ /Spülung oder 216 m^3 /Std. Der Wärmeverbrauch errechnet sich zu $216 \cdot (900 - 250) \cdot 0,4 = 56.000 \text{ WE}$. An dieser Stelle ist es zweckmäßig, sich auch über die Strömungsgeschwindigkeit bei der Spülung klar zu werden. Die $3,6 \text{ m}^3$ Dampf werden bis auf 900° erwärmt. Bei 900° nehmen sie ein Volumen von $15,5 \text{ m}^3$ ein. Bei einem freien Ofenquer-

schnitt von $0,83 \text{ m}^2$ ergibt sich die Strömungsgeschwindigkeit, da die $15,5 \text{ m}^3$ in 5,5 Sek. durchgeleitet werden, also in der Sekunde $2,83 \text{ m}^3$, zu $3,40 \text{ m/Sek.}$, gerechnet auf den freien Querschnitt. Bei der Strömung von oben nach unten ist eine solche Geschwindigkeit ohne weiteres zulässig. Für die entgegengesetzte Spülung wird man aber die Dampfmenge vielleicht etwa auf die Hälfte oder ein Drittel drosseln müssen. Der gesamte stündliche Wärmebedarf, der bisher errechnet wurde, beträgt also

Reaktionswärme	670 000 WE
Spülung und Convectionsverlust	210 000 WE
Verluste durch Dampferwärmung	<u>56 000 WE</u>
insgesamt ca.	940 000 WE

Für die Errechnung der Rauchgasverluste muß man folgende Überlegung anstellen. Die eigentliche Reaktion findet nicht im gesamten Ofen, sondern in der obersten heißen Zone statt, und zwar wird angenommen, daß sie, wie aus den Laboratoriumsuntersuchungen hervorgeht, etwa bei 750° beginnt. Erfahrungsgemäß darf die oberste Plattentemperatur nicht über 900° gesteigert werden, sodaß die Umsetzung im wesentlichen in dem Temperaturgebiet zwischen 900 und 750° stattfindet. Aus den obigen Rechnungen ergibt sich, daß für die eigentliche Reaktion $7 030 \text{ WE}$ pro Schaltung gebraucht werden. In der oberen Zone muß aber außerdem das Gas noch um 150° angewärmt werden. Demnach ist der Wärmeverbrauch für die Anwärmung $15 \cdot 150 \cdot 150 : 830 = 2 740 \text{ WE}$. Der Verbrauch im oberen Teil des Ofens beträgt also insgesamt $9 770 \text{ WE}$ für die Reaktion. Dazu kommt jetzt noch ein besonderer Verbrauch, der durch das Einleiten des verhältnismäßig kalten Dampfes bei der Rückspülung des Rauchgases eintritt und der vorsichtshalber mit ca. $40 000 \text{ WE/Std.}$ eingesetzt wird. Damit ergibt sich ein gesamt Wärmebedarf von $333 000 \text{ WE/Std.}$ Laut Betriebserfahrung können die Rauchgas-Spitzentemperaturen nicht wesentlich über $1 000^\circ$ gewählt werden, weil sonst Teerbildung und Nebenreaktionen auftreten. Das Rauchgas kühlt sich in der Reaktionszone im Mittel auf ca. 750° ab. Bei einer spezifischen Wärme des Rauchgases von $0,31$ können demnach die in dieser Zone gebrauchten $333 000 \text{ WE}$

Datum: 20. August 1943

Seite 8

von $4\,300\text{ m}^3$ Rauchgas transportiert werden. Demnach stellt sich die ganze Wärmebilanz, bezogen auf 20° , folgendermaßen: Dem Ofen werden zugeführt $4\,300\text{ m}^3$ Rauchgas mit $1\,000^\circ = 4\,300 \cdot 980 \cdot 0,31 = 1\,310\,000\text{ WE}$. Daraus errechnen sich dann die Rauchgaswärmeverluste nach folgender Aufstellung zu $374\,000\text{ WE}$.

Reaktionswärme	670 000 WE/Std.
Dampfenwärmung	156 000 WE/Std.
Spülung	210 000 WE/Std.
Rauchgas	<u>374 000 WE/Std.</u>
	insgesamt 1 310 000 WE/Std.

Demnach beträgt die Rauchgastemperatur im Ofenende

$$\frac{374\,000}{4\,300 \cdot 0,31} = 280^\circ.$$

Bei Austausch auf 150° mit der in den Ofen eintretenden Luft werden an die Luft $173\,000\text{ WE}$ abgegeben.

Die im Ofenkopf erforderlichen WE, die durch Einführung von Gichtgas gedeckt werden müssen, errechnen sich aus der für die Anwärmung der Verbrennungsluft und für die Anwärmung des Gichtgases auf $1\,000^\circ$ notwendigen Wärmemengen. Eine Nebenrechnung ergibt, daß die $4\,300\text{ m}^3$ sich zusammensetzen aus $3\,050\text{ m}^3$ Luft und $1\,250\text{ m}^3$ Gichtgas, wobei das Gichtgas mit 910 WE eingesetzt ist und angenommen wird, daß keinerlei Volumenkontraktion bei der Verbrennung eintritt. Diese Annahme ist natürlich nicht ganz korrekt. Die Luft wird auf 200° vorgewärmt gerechnet. Demnach ist der Bedarf für die Vorwärmung der Luft $3050 \cdot 800 \cdot 0,31 = 756\,000\text{ WE}$, der Bedarf für Gichtgas $1\,250 \cdot 980 \cdot 0,31 = 380\,000\text{ WE}$, insgesamt $1\,136\,000\text{ WE}$. $1\,250\text{ m}^3$ Gichtgas geben bei der Verbrennung $1\,136\,000\text{ WE}$. Es herrscht also Gleichgewicht zwischen Wärmebedarf und Wärmelieferung.

Durch die Vorwärmung der Luft auf 200° werden dem Rauchgas $170\,000\text{ WE}$ entzogen, da die Austrittstemperatur des Rauchgases aus dem Vorwärmer etwa 150° beträgt, während sie aus dem Ofen 280° betrug. Diese Zahlen stimmen mit den betrieblichen Messungen in Holtens gut überein. An dieser Stelle sei nochmals bemerkt, daß die Gichtgasmenge reichlich hoch eingesetzt ist,

weil durch unvollkommene Spülung Athanreste im Ofen verbleiben, die einen erheblichen Zusatz zur Verbrennungswärme liefern.

Der Ofen ist gefüllt mit einem Gitterwerk, das aus glatten, porenfreien Sillimanitplatten besteht. Eine Probeplatte von 9,7 cm Höhe, 14,7 cm Länge und 0,8 cm Dicke, also 114 ccm Volumen, hatte ein Gewicht von 325,5 g, also ein spezifisches Gewicht von 2,86. Es sei nun eine nähere Ausführung über die Plattenfüllung gemacht. Wie aus der von der Lurgi überlassenen Zeichnung 22/D/1037 hervorgeht, ist der Ofen durch ein Kreuz von 60 mm Stärke in vier Quadranten geteilt. In jedem Quadrant befinden sich 107 Platten, und zwar von 10 verschiedenen Formen bzw. Längen. Ein Teil der Platten ist mit Auflageleisten von 0,8 · 2 cm Querschnitt versehen. Die Platten sind so gelagert, daß zwischen den Platten Durchgänge frei bleiben. Den freien Querschnitt dieser Durchgänge kann man aufgrund der nachstehenden Tabelle berechnen, die für einen Ofen von 1 120 mm lichtigem Durchmesser im eigentlichen Plattenraum gilt und sich auf einen Quadranten bezieht.

<u>Pos.</u>	<u>Länge</u>	<u>Zahl</u>	<u>Querschnitt ohne Leiste</u>
1	15	41	490 cm
1a	10	1	8 "
1b	5	1	4 "
2 L	15	34	407 "
3 I	12	7	67 "
3a L	11	3	26 "
4 L	10	6	48 "
4a L	8,5	3	22 "
5 I	7,5	4	24 "
6 L	5,0	7	28 "
		<u>107</u>	<u>1 124 cm</u>
Leisten 0,8 · 2 cm		64	102 "
		<u>Gesamtquerschnitt</u>	<u>1 226 cm</u>

Die mit L bezeichneten Positionen haben Auflageleisten. Der von den Platten insgesamt eingenommene Querschnitt errechnet

Datum: 20. August 1943 Seite 10

sich nach der Tabelle zu $1\,226\text{ cm}^2$. Der gesamte Querschnitt des Ofenquadranten ist $2\,450\text{ cm}^2$. Das Kreuz nimmt von diesem Quadranten, da es für jeden Quadranten mit 3 cm Breite einzusetzen ist, $3 \cdot 56 = 168 + 3 \cdot 53 = 159 =$ insgesamt 327 cm^2 ein, die von den $2\,450\text{ cm}^2$ Quadrantenquerschnitt abzusetzen sind, sodaß für den eigentlichen Plattenraum $2\,123\text{ cm}^2$ übrig bleiben. Von diesen werden $1\,226\text{ cm}^2$ für die Platten weggenommen, sodaß 897 cm^2 wirklicher freier Querschnitt bleiben; bezogen auf die Ofenfläche sind das 36,5 %. Die Ofenhöhe ist mit 4 m als ausreichend im Betrieb erprobt worden. Da der von den Platten in jedem Quadranten eingenommene Querschnitt $1\,226\text{ cm}^2$ beträgt und bei 10 cm Plattenhöhe 40 Plattenlagen im Ofen vorhanden sind, so ist das gesamte Volumen der Platten $1\,226 \cdot 4 \cdot 40 = 1,96\text{ m}^3$ oder das erforderliche Platten-gewicht unter Voraussetzung des oben angegebenen spezifischen Gewichts von 2,86 $1,96 \cdot 2,86 = 5,54\text{ t}$.

Diese für 1 120 mm Durchmesser = $0,982\text{ m}^2$ durchgeführte Rechnung gilt für eine stündliche Ofenleistung von 250 m^3 . In Watenstedt sollen 540 m^3 durch den Ofen durchgesetzt werden. Der Ofenquerschnitt beträgt infolgedessen $9\,820 \cdot 540 : 250 = 21\,200\text{ cm}^2$. Sicherheitshalber soll er, wie oben schon ausgeführt, auf $22\,600\text{ cm}^2$ gebracht werden, infolgedessen ergibt sich der Plattenbedarf für den Ofen zu $5,54 \cdot 22\,600 : 9\,820 = 12,75\text{ t}$. Die Anzahl der Platten, die für den Watenstedt-Ofen gebraucht werden, beträgt geschätzt 39 400 Stck. oder für die Anlage bei 4 Öfen 160 000 Stck.

Die Austauschfläche im Ofen errechnet sich folgendermaßen, wobei die Rechnung wieder auf den Ofen von 1 120 mm lichter Weite aufgebaut ist. Bei 897 cm^2 freiem Querschnitt pro Quadrant ergibt sich die Gesamtlänge der Längskanten der rechteckigen Schlitzte, da die Schlitzbreite 8 mm ist, zu $897 \cdot 2 : 0,8 = 2\,240\text{ cm}$. Die Querkantenlänge ergibt sich zu $107 \cdot 2 \cdot 0,8 = 171\text{ cm}$. Demnach ist die Summe der Kanten $2\,411\text{ cm}$, oder bei 10 cm Höhe der Platten hat jeder Quadrant pro Plattenlage $2\,411\text{ cm}^2$ Austauschfläche, jede Lage also $9,64\text{ m}^2$. Der ganze Ofen hat 40 Lagen, somit also 386 m^2 Wärmeaustauschfläche.

* da ein Quadrant 107 Platten enthält,

Bemerkung:

Seite 11

Für den Watenstedt-Ofen ergibt sich die Fläche in Analogie
mit der obigen Rechnung zu $386 \cdot \frac{22\ 600}{9\ 820} = 885\ \text{m}^2$.

Dr. Trause