

Warmlufttrocknung



Grundsätzliches zur Warmlufttrocknung

Produktschonung vor Leistung

Je höher die Temperatur und je niedriger der Wassergehalt, desto kürzer die Verweildauer im Trockner

Je niedriger die Temperatur, bei niedrigem Wassergehalt, desto länger die Verweildauer im Trockner

aber

Bei höherem Wassergehalt kann die Verweildauer im Trockner bei höherer Temperatur länger sein.

Wärmelufttrocknung

Spezifischer Wärmebedarf zum Wasserentzug und Trockenlufttemperaturen bei verschiedenen Getreidearten			
Fruchtart und Feuchtegehalte $U_1 - U_2$ %	Trocknerbauarten	Trocknungslufttemperatur in ° C	Spez. Wärmebedarf W / kg H ₂ O
Konsumgetreide 20 % - 14 %	Ruheschichttrockner	50 – 80	1800 - 2000
	Umlauftrockner	60 – 90	1400 – 1800
	Durchlauftrockner	70 - 100	1200 - 1600
Saatgut Braugerste 20 % - 14 %	Ruheschichttrockner	45	2000
	Umlauftrockner	50	1700
	Durchlauftrockner	50	1700
Körnermais (Fütterung) 35 % - 14 %	Ruheschichttrockner	50 – 80	1400 – 1800
	Umlauftrockner	60 – 90	1200 - 1400
	Durchlauftrockner	70 - 120	1000 - 1400

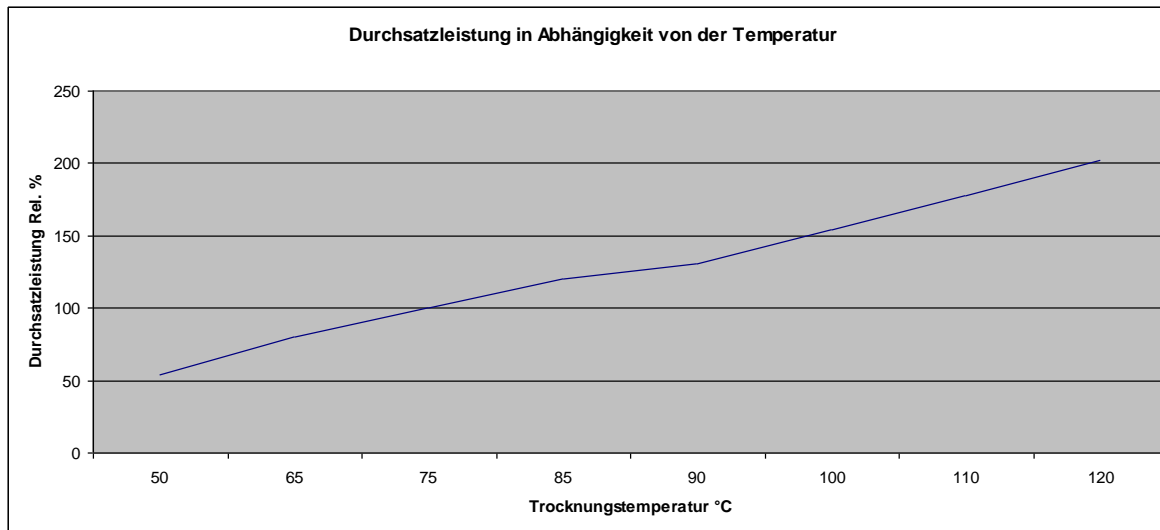
Wobei gilt: Je höher die Trocknungstemperatur, desto geringer ist der spez. Wärmebedarf

Warmlufttrocknung

Allgemeines zur Trocknerleistung

Trocknungstemperatur und Trocknungsleistung

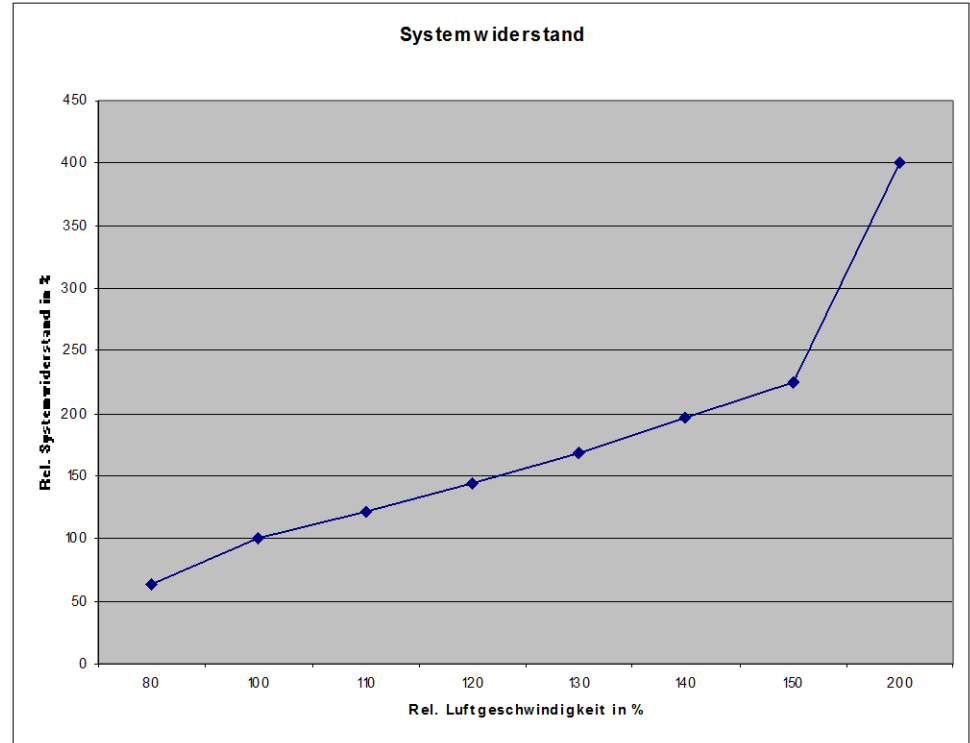
Lufttemperatur in °C	50	65	75	85	90	100	110	120
Leistungsveränderung in %	54	80	100	120	131	154	178	202



Warmlufttrocknung

Allgemeines zur Trocknerleistung

Luftgeschwindigkeit und Systemwiderstand



Rel. Luftgeschw. in %	80	100	110	120	130	140	150	200
Rel. Widerstand in %	64	100	121	144	169	196	225	400

Warmlufttrocknung

Grundsätzliches

Wichtig für die Trocknung: Definitive Wasserentzugsmenge

$$m_{H_2O} = \frac{m_{\text{Getreide}} \times (U_{\text{Eingang}} - U_{\text{Ausgang}})}{(100 - U_{\text{Ausgang}})}$$

Beispiel: 10 000 kg Mais Feuchtegehalt: 35 % Gewünschte Endfeuchte : 14,5 %

$$\cancel{10\,000 \text{ kg} \times 20,5 \% = 2050 \text{ kg Wasser}}$$

Dem Mais müssen 2398 kg Wasser entzogen werden

Warmlufttrocknung

Grundsätzliches

Zulässige Getreidetemperatur in Abhängigkeit der Eingangsfeuchte				
Kornfeuchte %	Weizen ° C	Roggen Hafer Gerste Konsumware ° C	Mais ° C	Saatgut Braugerste ° C
16	55	65	75	49
18	49	59	65	43
20	43	53	58	38
22	37	47	52	34
24	35	40	44	30

Um Veränderungen in den Eiweißbestandteilen der Körner zu vermeiden, muss bei längerer Verweildauer auf eine niedrigere Korntemperatur geachtet werden.

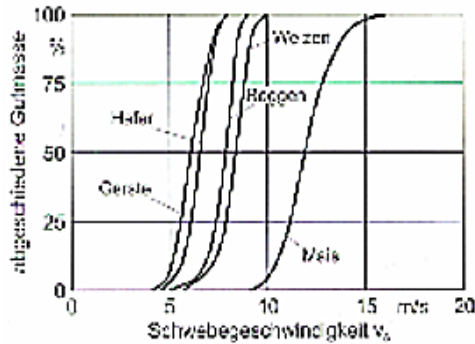
Warmlufttrocknung

Grundsätzliches

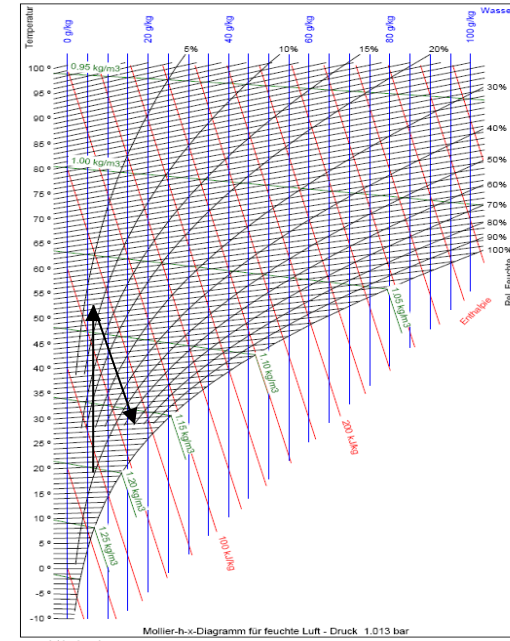
Zulässige Trockenlufttemperatur in Abhängigkeit der Trocknerbauart				
Trocknerart	Weizen ° C	Roggen Hafer Gerste Konsumware ° C	Mais ° C	Saatgut Braugerste ° C
Satztrockner	56	67	75	50
Umlauftrockner	62	72	90	52
Durchlauftrockner	≤ 66	76	130	53

Wärmelufttrocknung

Luftführung in einem
Wärmelufttrockner



Für die Auslegung eines Getreidetrockners ist zu beachten, dass die Schwebegeschwindigkeit des Getreides nicht überschritten wird. Deshalb geht man von Luftgeschwindigkeiten unter 4 m/s in einem Trockner aus.



Mit dem hx-Diagramms nach Mollier ist es dann möglich die max. Wasserentzugsmenge zu beurteilen.

Warmlufttrocknung

Grundsätzliches

Trockenlufttemperatur

Die Trocknungslufttemperatur setzt sich aus der anliegen Außentemperatur (t_A) und der Temperaturerhöhung (Δt) zusammen, was folgenden Zusammenhang ergibt:

$$t_{ges} = \Delta t + t_A$$

Für die Temperaturerhöhung gilt, um eine Überhitzung des Getreides zu vermeiden:

$$\Delta t = (2 \times t_{G_{max.}}) - t_A$$

Warmlufttrocknung

Grundsätzliches

Nötige Wärme

Die nötige Wärmemenge Q (W/h) für einen Trocknungsvorgang errechnet sich aus den Parametern:

- Spezifischer Energiebedarf Luft (0,3605 W / K x m³)
 - Temperaturdifferenz (Δt)
 - Luftmenge (m³ / h)

Daraus ergibt sich:

$$Q (W / h) = 0,3605 \text{ W / K} \times m^3 \times V (m^3) \times \Delta t (K)$$

Warmlufttrocknung

Grundsätzliches

Wasseraufnahmevermögen der Luft

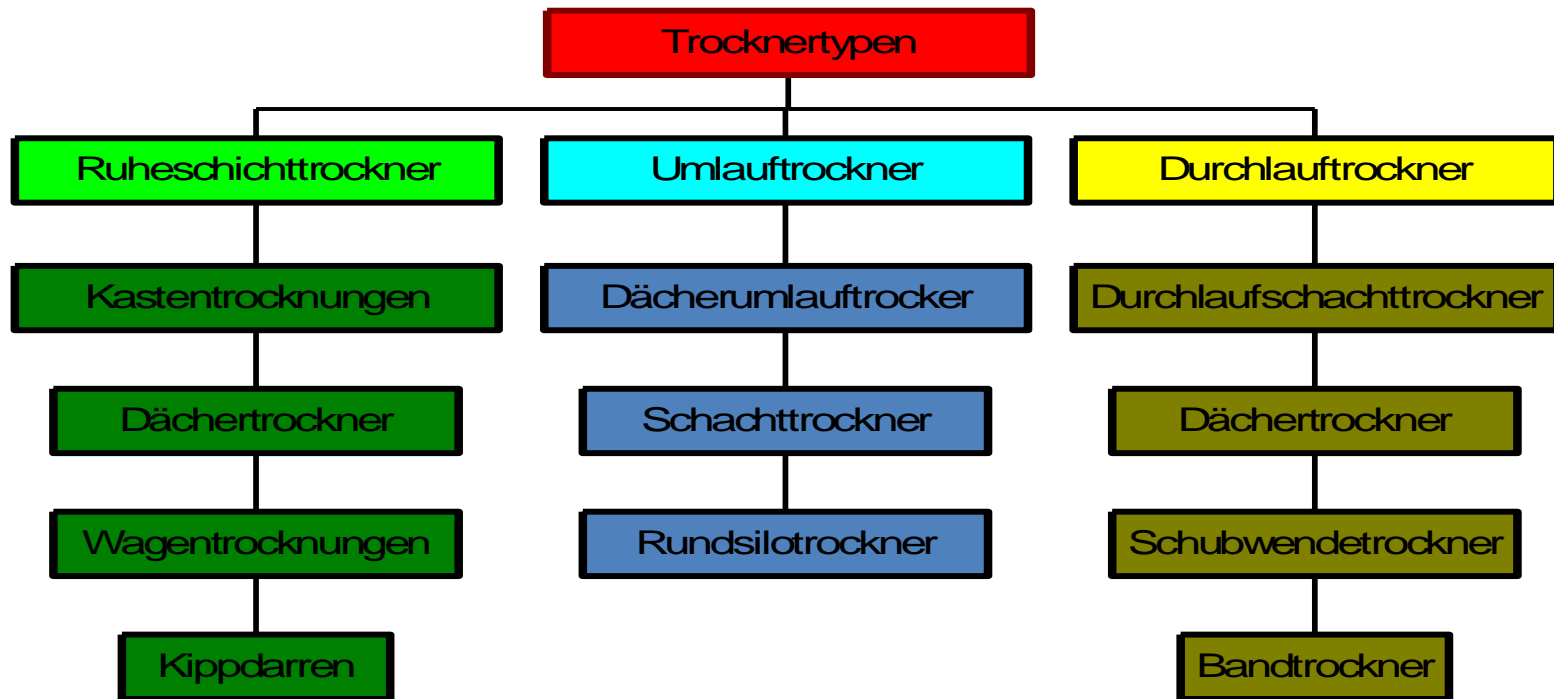
Um die Wasseraufnahmefähigkeit des Luftstroms (X_W) zu berechnen muss die Luftleistung (V) des Trockners bekannt sein und kann wie folgt berechnet werden:

$$X_W = x_W \times V$$

Um dieses Wasseraufnahmevermögen in $\text{kg} / \text{m}^3 \times \text{h}$ zu berechnen können wir Anhaltspunkte nach Bungartz aus folgender Tabelle entnehmen:

Temperatur Trocknungsluft (°C)	Wasseraufnahmefähigkeit x ($\text{kg}/\text{m}^3 \times \text{h}$)	Energiebedarf für 1 kg H_2O kW/h
30	0,009	2,0
60	0,025	1,8
80	0,300	1,4
100	0,450	1,2
150	0,600	1,0

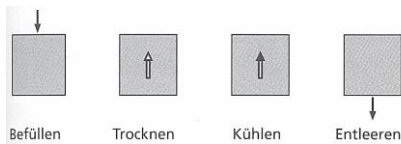
Warmlufttrocknung



Warmlufttrocknung

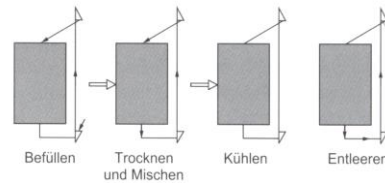
Verfahrensabläufe

Ruheschichttrocknung



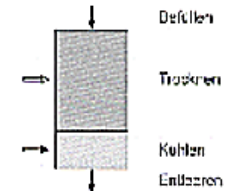
Leistung: 0,5 – 3,2 t/h Getreide

Umlauf Trocknung



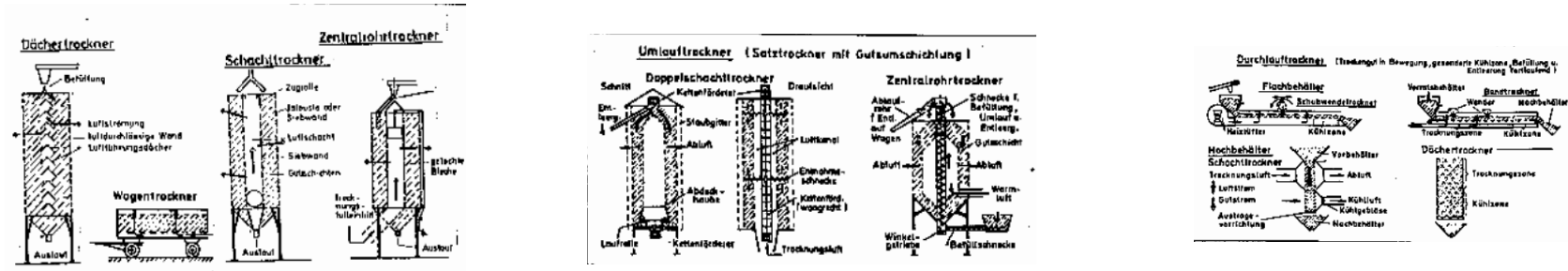
Leistung: bis 10 t/h Getreide

Durchlauftrocknung

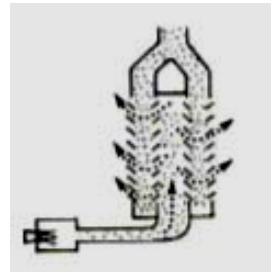
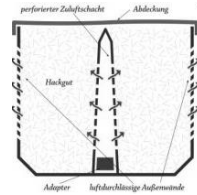
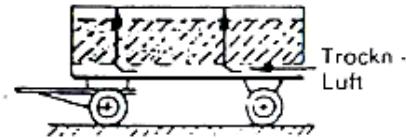
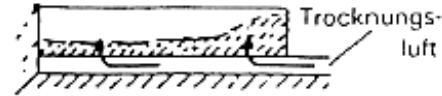


Leistung: 60 (100) t/h Getreide

Bauarten



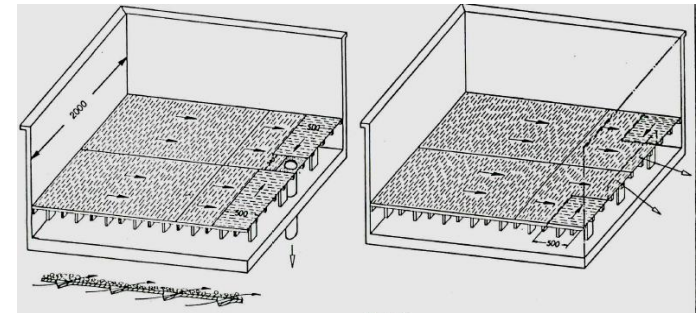
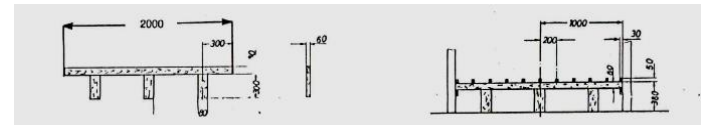
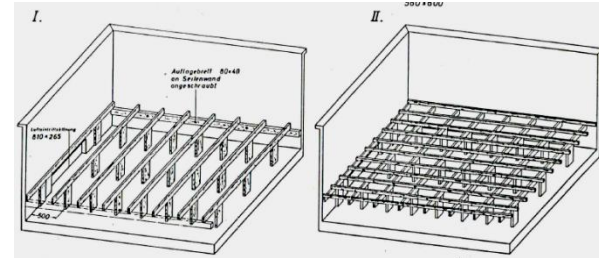
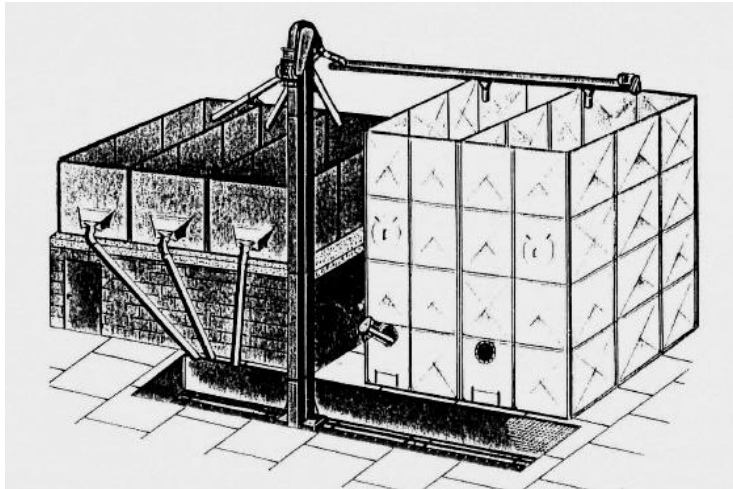
Warmlufttrocknung



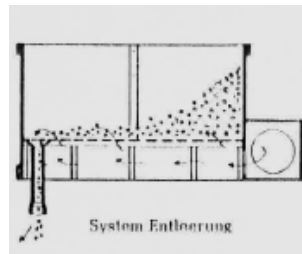
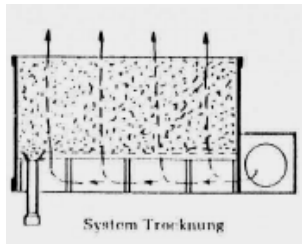
- Trocknungssysteme ohne Umwälzung des Trockengutes
- Energieverbrauch sehr hoch
- Geringe Trocknungstemperaturen
- Schichtdicken max. 1000 mm (Nassmais max. 500 mm)
- Lange Trocknungszeiten

Warmlufttrocknung

Typische Bauart einer Getreidedarre



Bauausführung



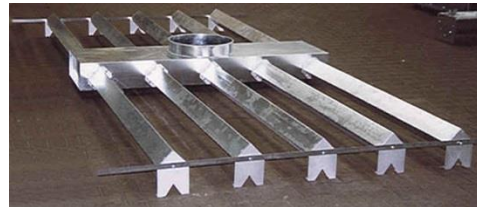
Funktion mit pneumatischen Austrag

Warmlufttrocknung

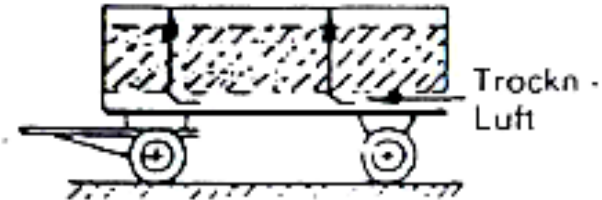
Wagentrocknung



Anordnung einer Wagentrocknung



Verschiedene Luftverteilsysteme



Warmlufttrocknung

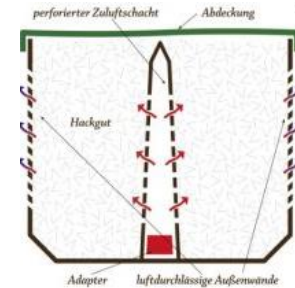
Containertrocknung



Grundsätzlicher Aufbau



Luftverteilsysteme



Trocknungsleistung ineffizient → Nutzung von Prozesswärme

Warmlufttrocknung

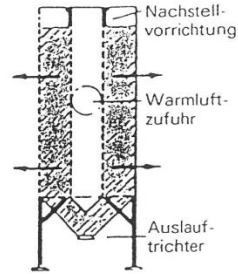
Containertrocknung

Effizienzsteigerung durch mechanische Rührwerke

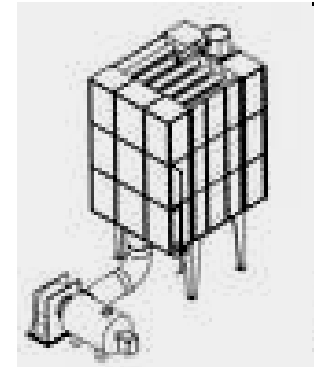
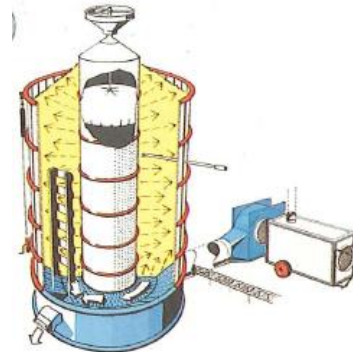


Warmlufttrocknung

Satztrocknung



Zentralschachttrockner mit Blähkolben

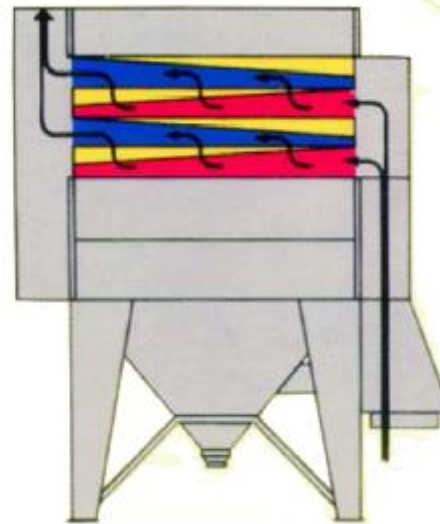
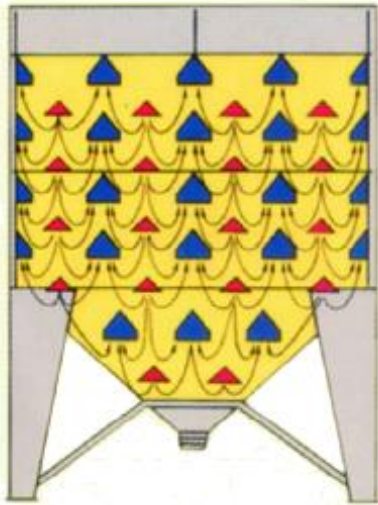


Dächersatz Trocknung



Warmlufttrocknung

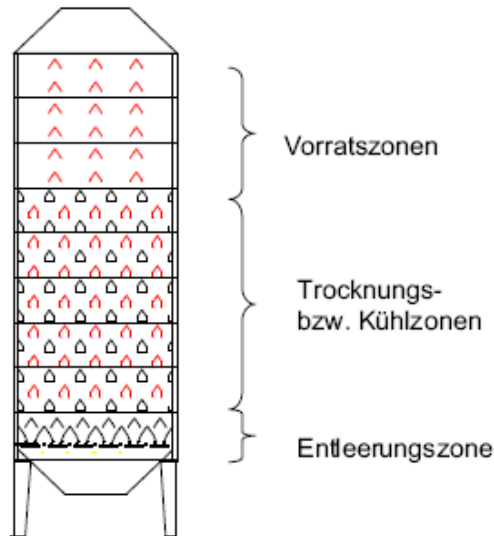
Satztrocknung



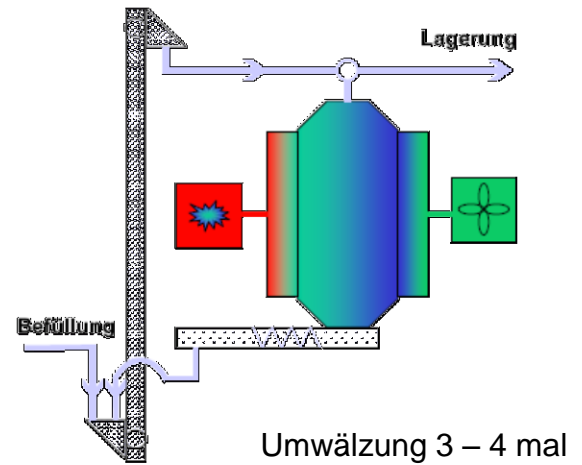
Der Dächertrockner für gleichmäßigere Trocknung durch geringe Trockenschichtdicken

Warmlufttrocknung

Aufbau eines Umlauftrockners



Systemschema eines Umlauftrockners



Warmlufttrocknung

Umlauf trockner

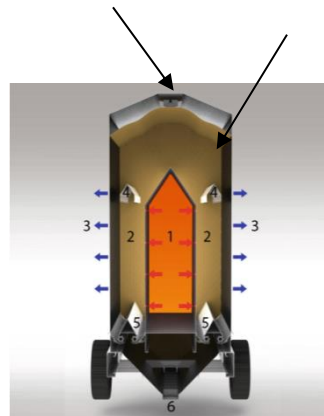


Werkfoto Laxhuber

- 1 Warmluftschacht (Plenum)
- 2 Trocknungszone
- 3 feuchte Fortluft
- 4 Zulaufkaskade
- 5 Walzenaustrag
- 6 Umlaufelevator

Querstrom trockner

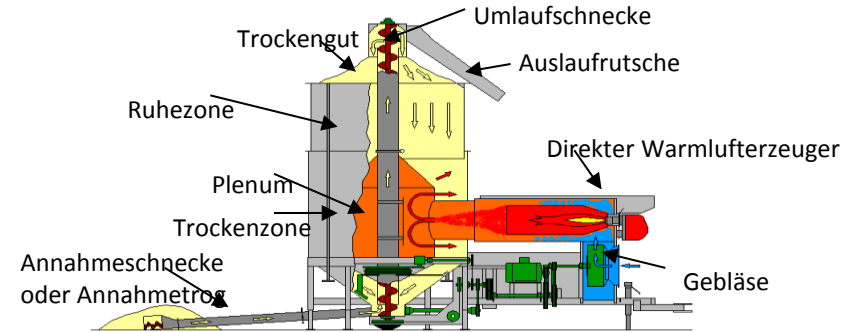
Zulaufelevator



Werkfoto Laxhuber

Ruhezone (Dryerration)

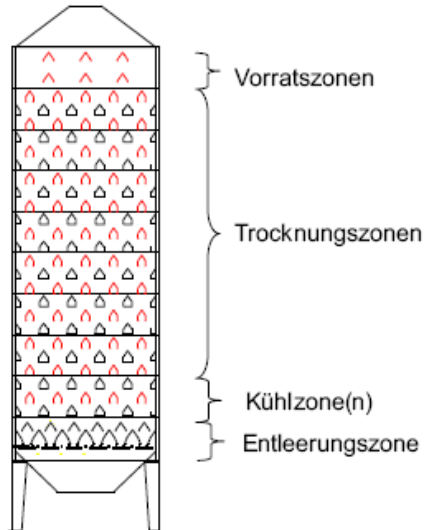
Ringschacht trockner



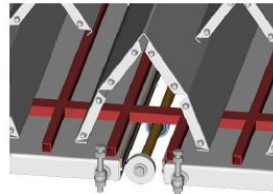
Warmlufttrocknung

Durchlauftrockner (kontinuierliche Trockner)

Aufbau eines Durchlauftrockner



Schubrechen

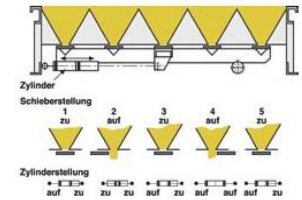


Bauarten von Austragelementen

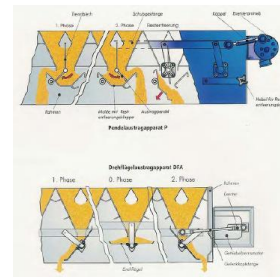


Werkbild: Stela

Plattenschieber



Klappfannen

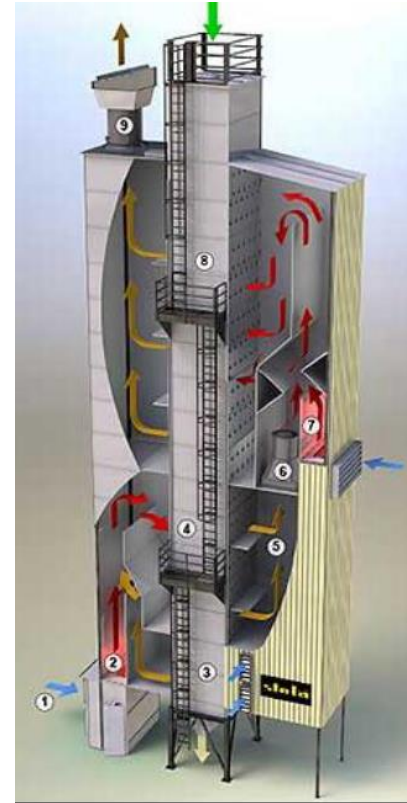


Durchfluß wird über die Frequenz der Mechanik bestimmt

Warmlufttrocknung



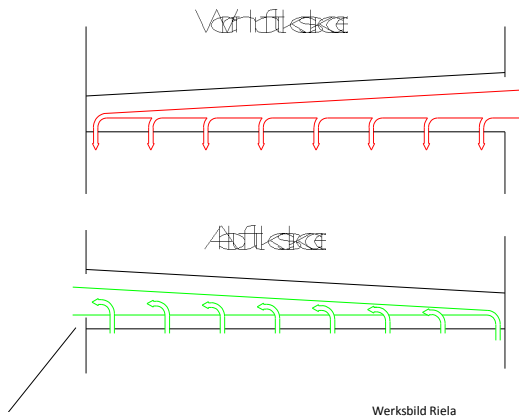
Werkbild laxhuber ; Massing



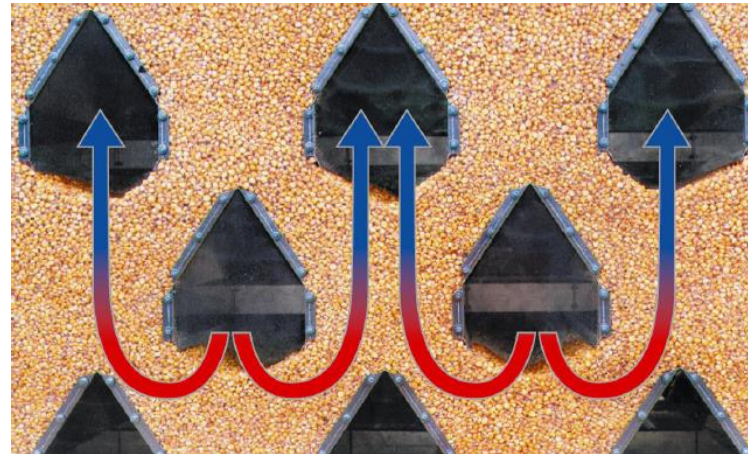
Werkbild Stela

Warmlufttrocknung

System eines Dächertrockners



Trockenschichtstärken:
0,3 – 0,6 m



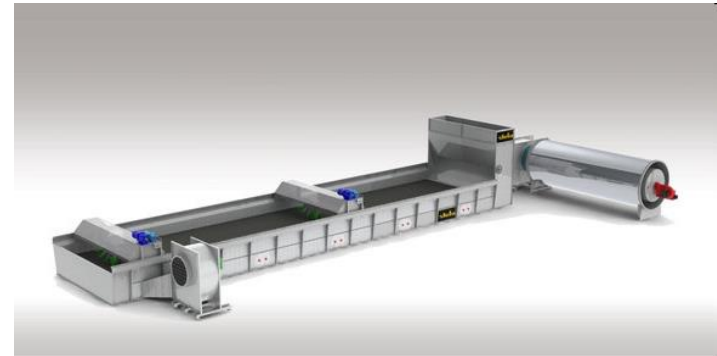
Warmlufttrocknung

Schubwendetrockner (kontinuierlicher Trockner)

Geeignet als Niedertemperaturtrockner
Trocknung auch für nicht rieselnde Güter

allerdings

Hohe Ansprüche an Technik und Entstaubung



Luftleistung pro m² ca. 800 – 1000 m³/h



Warmlufttrocknung

Schubwendetrockner (Leistungskriterien)

- Kleine bis mittlere Durchsätze bis 1,5 to/h
- Wasserverdunstung (75°C) bis 11 kg/(m²*h)
- Mittlerer Durchsatz pro m² Trocknungsfläche (bis zu 40 kg/(m²*h))
- Lufttemperaturen bis 120°C
- Wenden durch Schubwendewagen sorgt für deutlich
- Schnellere Trocknung im Vergleich zu normalen Flächentrocknern
- Höhere mechanische Belastung des Produktes
- Für Niedertemperaturtrocknung mit Warmwasser
- Vorlauf / Rücklauf 85/65°C
- Für Umgebungstemperaturen von 15°C und
- Lufttemperaturen von 75°C
- Heizleistung: 16,7 kW / m²
- Luftdurchsatz: 784 m³/(m²*h) bei 15°C
- Warmwasserbedarf (Abkühlung 20°C): 0,733 m³/(m²*h)
- Warmwasser-/Glykolbedarf (70/30%): 0,773 m³/(m²*h)

Warmlufttrocknung

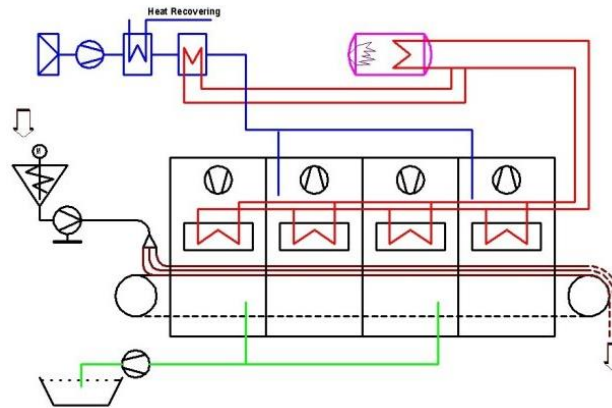
Bandrockner (kontinuierlicher Trockner)



Einbandrockner



Mehrbandrockner



Warmlufttrocknung

Bandrockner

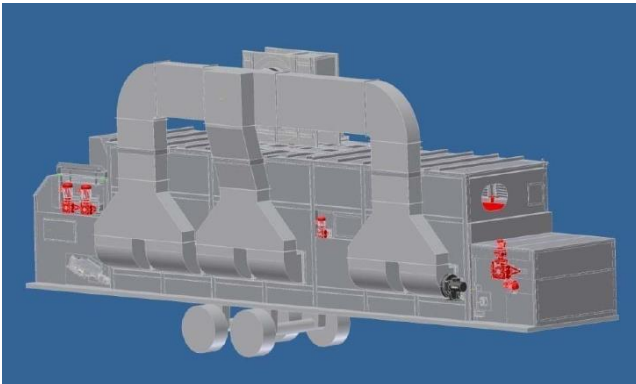


Fünfbandrockner

Warmlufttrocknung

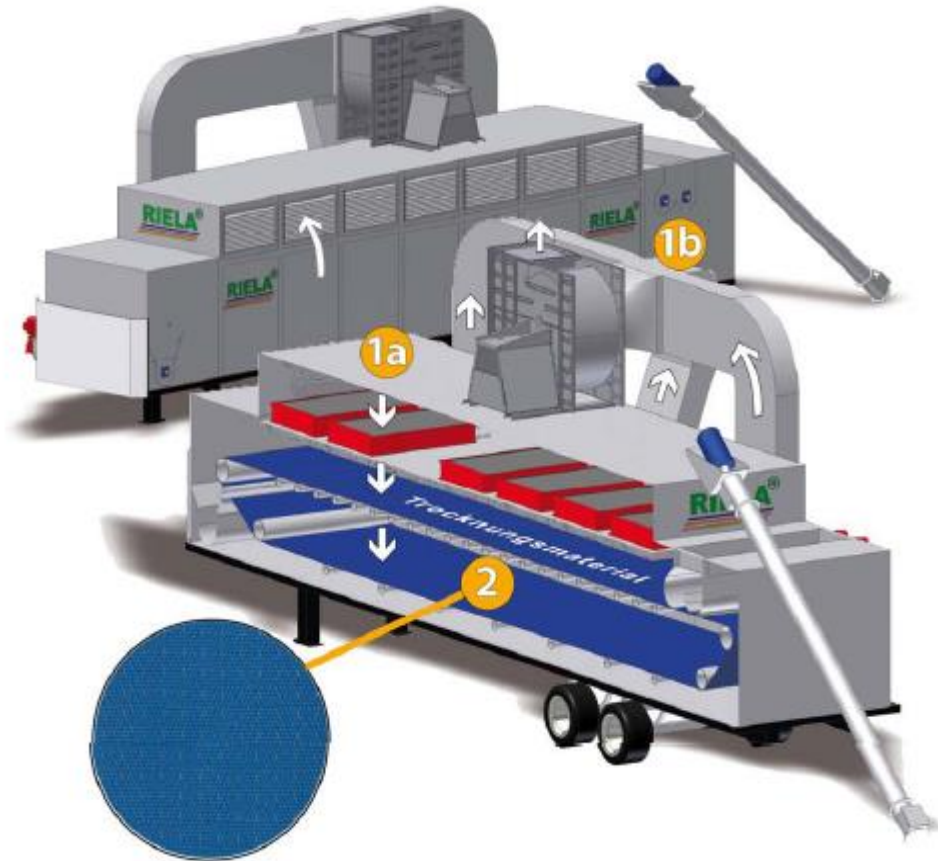
Bandrockner (Leistungskriterien)

- Kontinuierlicher Dreischichtbetrieb notwendig, nur
- Überwachungsaufgabe für Bedienungspersonal
- Schonende Trocknung mit geringer mechanischer
- Belastung (z.B. Kräuter)
- Heizleistungen von bis zu 14 kW / m² für Mehrbandrockner
- bis zu 50 kW / m² für Einbandrockner
- Luftdurchsatz von bis zu 2.500 m³/(m²*h) bei 15°C (0,7 m/s)
- Hohe Durchsätze bis 10 to/h
- Hoher Durchsatz pro m² Trocknungsfläche (bis zu 90kg/(m²*h))



Warmlufttrocknung

Bandrockner (Aufbau)



Warmlufttrocknung

Silotrocknung



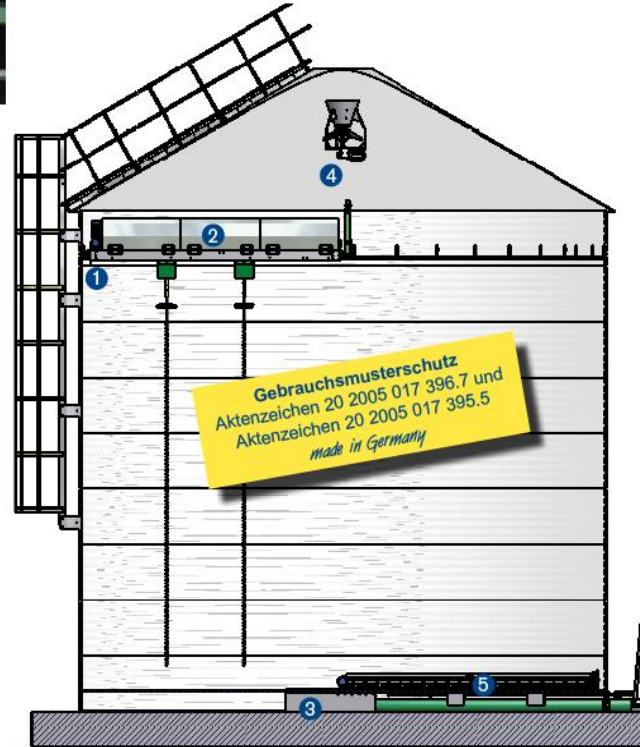
1



2



3



4



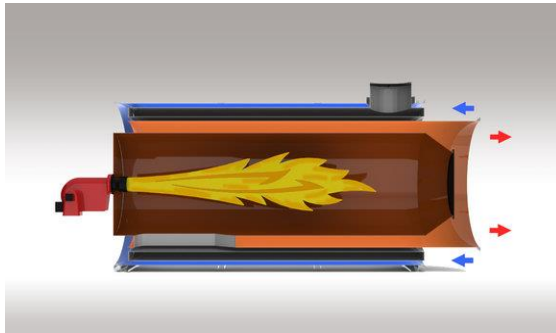
2



5

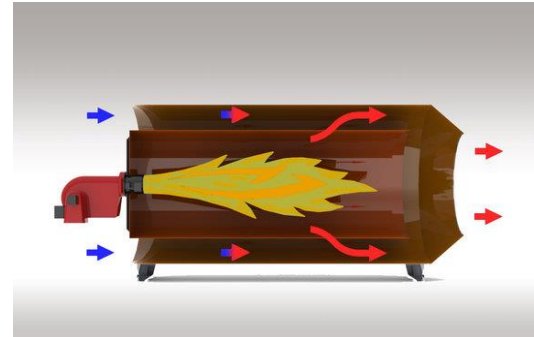
Warmlufttrocknung

Warmlufterzeuger



Indirekte Befeuerung erfordert immer einen Kamin zur Rauchgasabführung

Der Wirkungsgrad liegt bei ca. 88 – 92 %

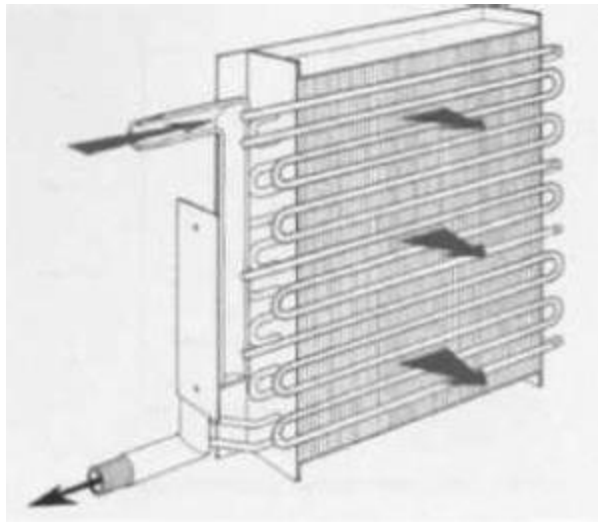


Direkte Befeuerung erfordert keinen Kamin zur Rauchgasabführung

Der Wirkungsgrad liegt bei ca. 98 %

Warmlufttrocknung

Warmluftherzeuger - Wärmetauscher

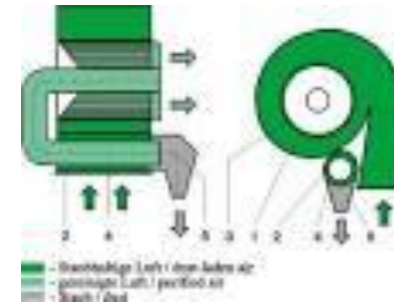


Warmlufttrocknung

Entstaubung

Gewerblich genutzte Anlage unterliegen grundsätzlich dem Emissionsschutzgesetz, kann dies auch für landwirtschaftliche Anlagen in betracht kommen, wenn sich hier bezüglich der örtlichen Lage etwaige Beeinträchtigungen bezüglich Lärm und vor allem Staub nachweisen lassen. Die TA-Luft sagt eindeutig eine maximale Staubkonzentration von 25 mg / m³ Luft.

Diese Werte können durch den Einsatz von Zyklonen oder entsprechenden Zentroabscheidern erreicht werden.



Getreidetrocknung – Verfahren / Kosten

Warmlufttrocknung

Kühlzeiten bei Vollkühlung				
Kühlgebläseleistung m ³ /h	28647			
Max. Korntemp. °C	Kühlung Endtemperatur °C	Temperatur- differnz °C	voraussichtliche Kühlzeit Stunden	
72	15	57	0,91	
Elevatorleistung t/h	60	Umschlagleistun g	h	
Umschlagzeit	0,57	Befüllung	0,28	
		Entleerung	0,28	

benötigte Heizenergie pro h		Energieträger			
		Heizöl kW/kg	Dichte kg/l	Heizöl kW/l	Benötigte Energieträger menge
568		11,8	0,8325	9,82	57,82
	Aktueller Energieträger preis		0,57	Gesamtpreis /h	32,96

Getreidetrocknung – Verfahren / Kosten



Warmlufttrocknung

Bauteil	Antriebsleistung	Anzahl	Einzelpreis	Gesamt	Baugruppen summe	Einsatzzeit (h)	Nutzung s-dauer	Fixkosten				Variable Kosten		Gesamtkosten laufend	
								Afa	Versicherung	Zinssatz	Restwert	Wartung	Energiekosten Einsatzdauer		
									2%	4%			4%	0,24 €	

Trocknungsanlage															
Umlauf trockner mit Heizregister und Fördertechnik	25,00	2	120.000,00 €	240.000,00 €		302	15	16.000,00 €	4.800,00 €	4.800,00 €	€ -	9.600,00 €	72,39 €		
Puffer und Köhlsilo	15,00	4	5.800,00 €	23.200,00 €		302	15	1.546,67 €	464,00 €	464,00 €	€ -	928,00 €	72,39 €		
Puffersilos je 26 t	0,00	4	5.800,00 €	23.200,00 €			18	1.288,89 €	464,00 €	464,00 €	€ -	928,00 €	0,00 €		
			Summen					18.835,56 €	5.728,00 €	5.728,00 €	€ -	11.456,00 €	144,78 €	41.892,34 €	

	m ³	t	Angenommene Zusatzleistung					
Anlagengrundleistung	8000	5200						
	Gesamtsumme	Zusatzleistung	Kosten je m ³	Kosten je t	Kosten je dt	Durchsatzleistung	Einsatzdauer	Einsatzdauer
		t				t	h	Tage
Trocknungsanlage	51.978,65 €	0	7,25 €	9,75 €	0,98 €	17,24	302	13
	51.978,65 €	Gesamt	7,25€	9,75 €	0,98€			