



Vorlesung Teilkomponenten von konventionellen Dampfkraftwerken

**Vorlesung Übersicht Kernkraftwerke:
Mittwoch, 15.06.05, 11:10 Uhr, Pau 212H
Dr. Lippmann**

Dresden, 07.06.2005

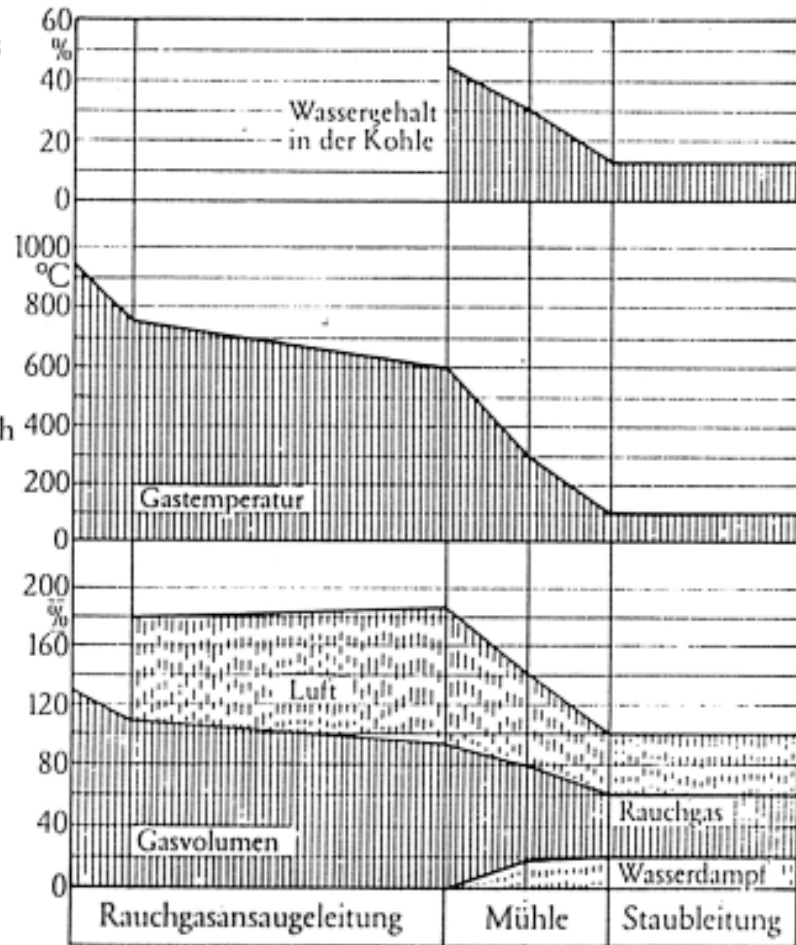
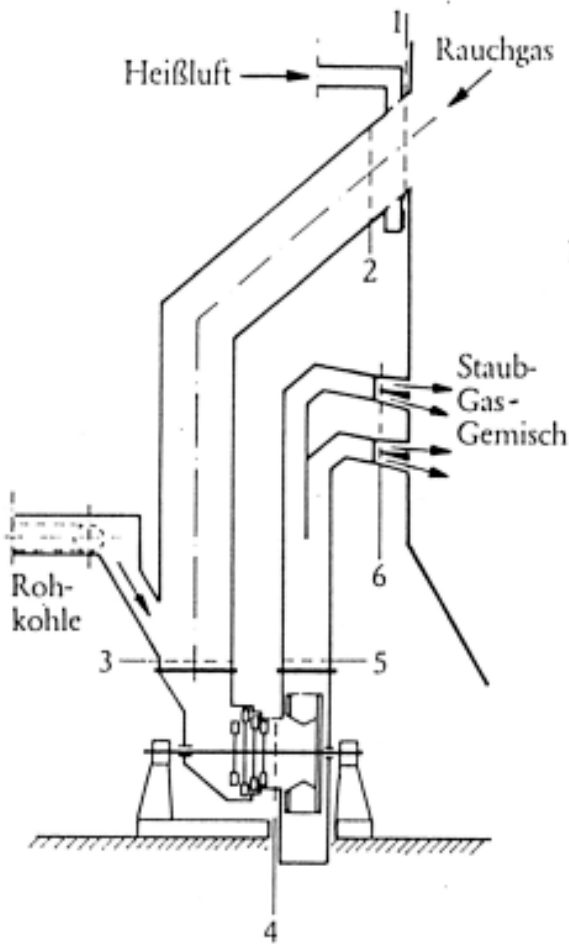


Braunkohlekraftwerk Niederaußem (Foto: Michael Loewnich)



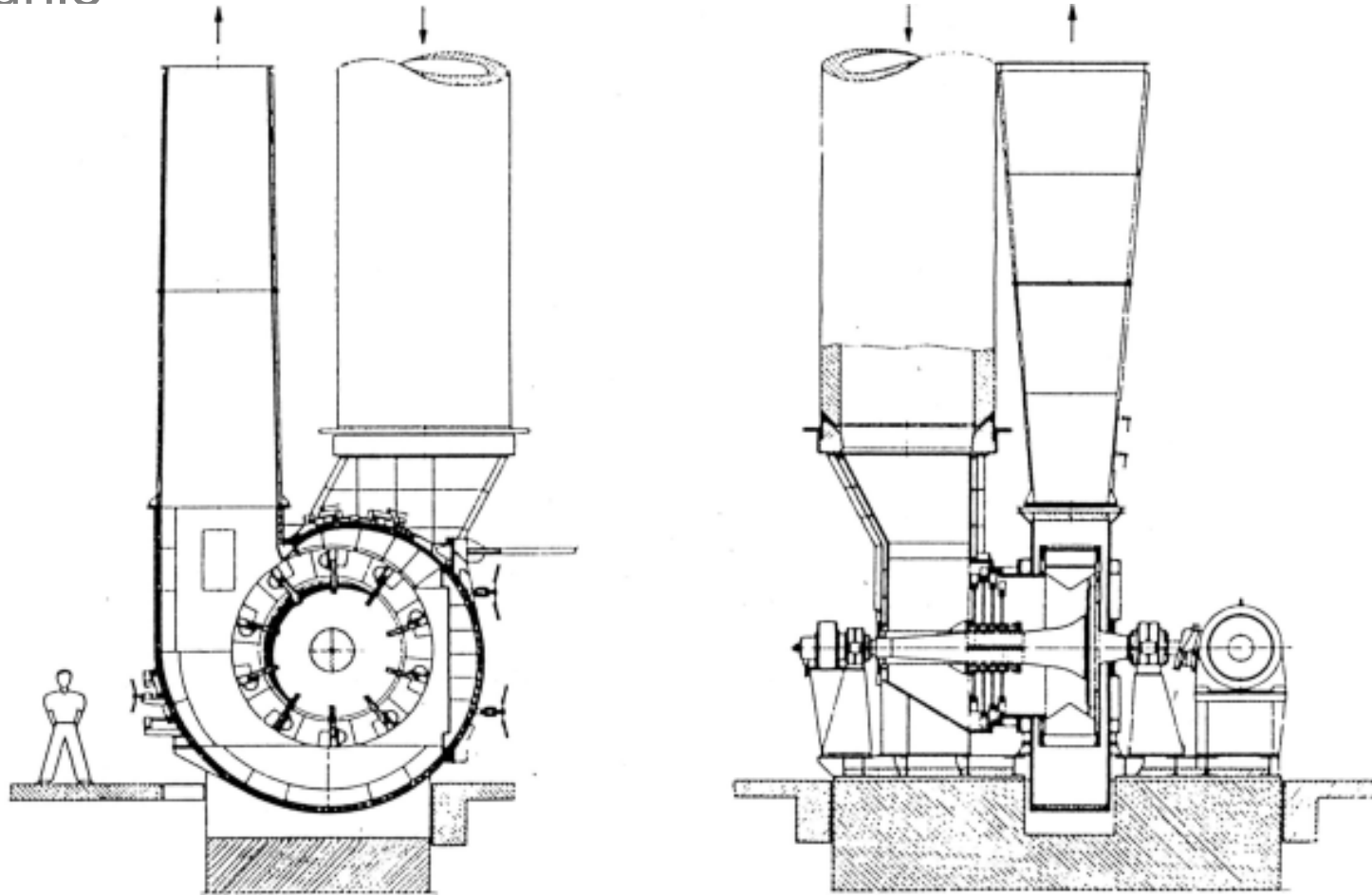
Kraftwerk Gerstein, Hamm II (Foto: Michael Loewnich)

Mühle



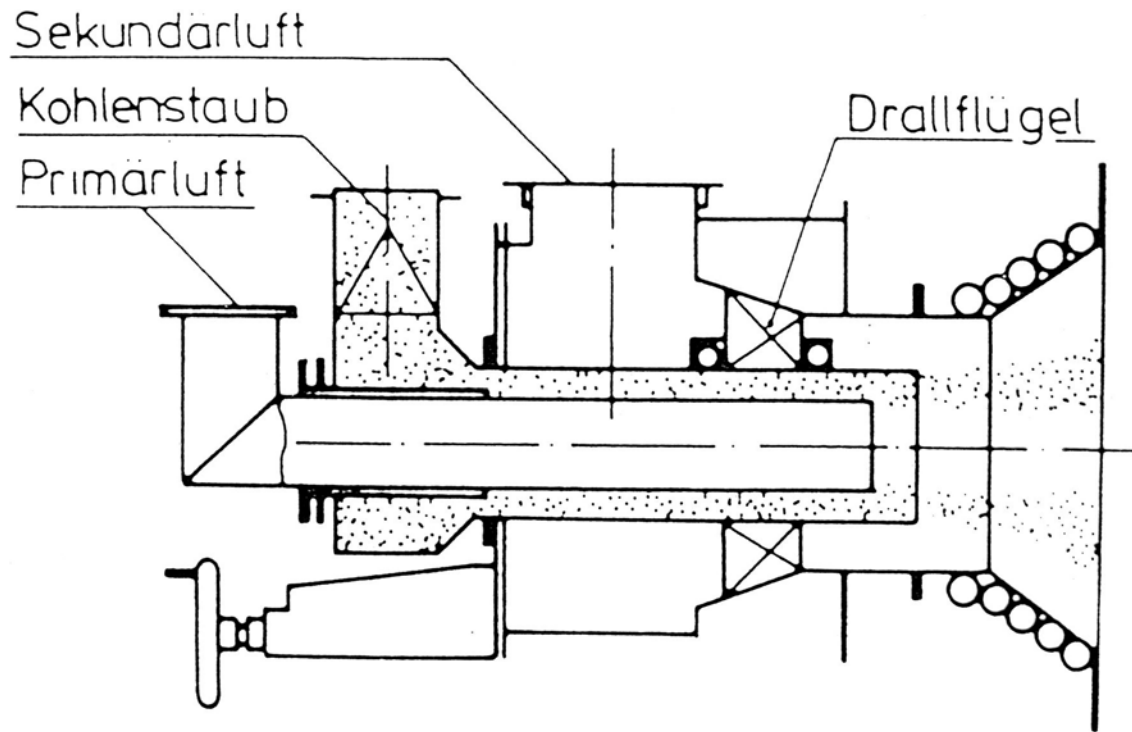
Zustandsänderung in einer Braunkohle-Mahltröcknungsanlage

Mühle



Schlagradmühle (Bauart Babcock)

Brenner



Kohlestaub-Brenner

Maßnahmen zur Schadstoffsenkung

Kohlenmonoxid CO stammt aus der unvollkommenen Verbrennung bei

- **unterstöchiometrischer Verbrennung (O₂-fehlt!)**
- **unvollständige Mischung von Brenn- und Sauerstoff**
- **zu geringe Aufenthaltszeit bei zu niedrigen Temperaturen**

Die Reaktion $\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ist dabei vor allem stark

temperaturabhängig.

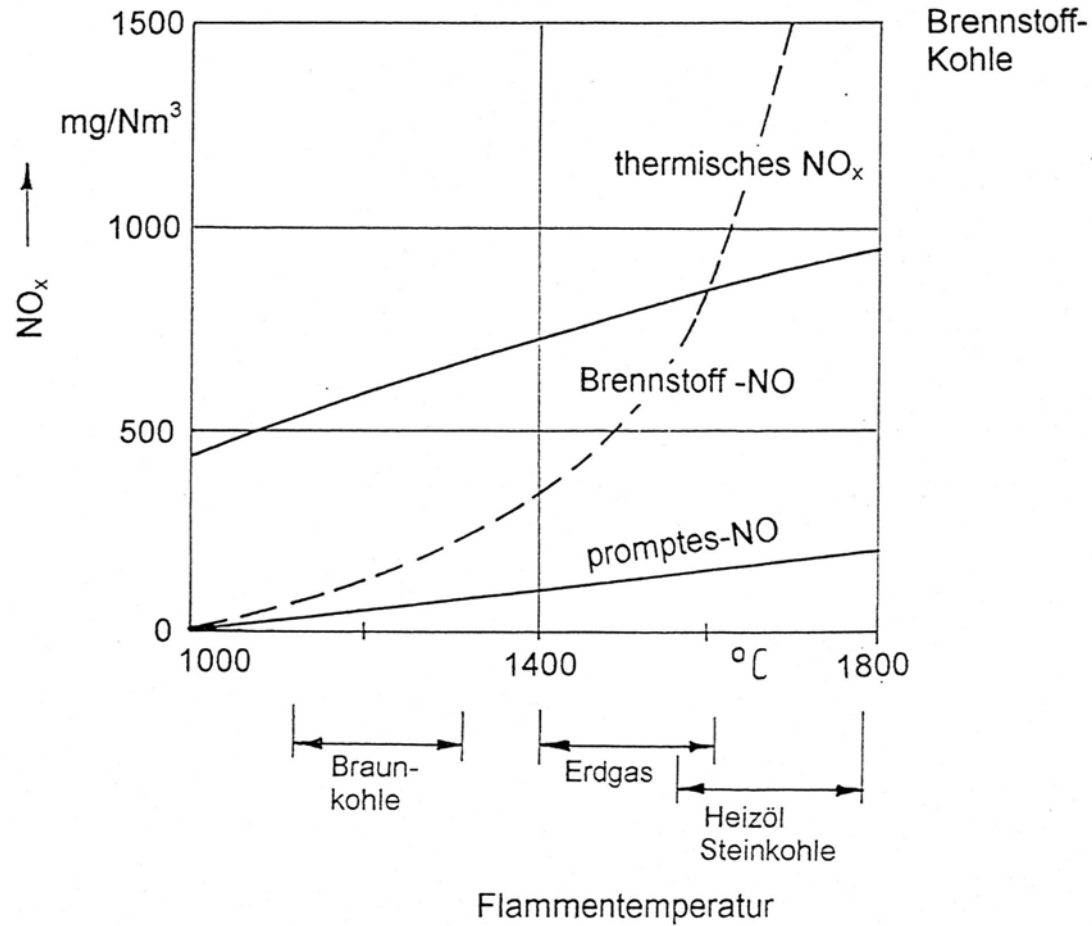
Stickoxide NO (90-95 %) und NO_x (5-10 %)

können im wesentlichen durch drei Mechanismen entstehen

- **thermische NO-Bildung**
- **Brennstoff NO-Bildung**
- **prompte NO-Bildung**

Für Kohle ergeben sich die Konzentrationen der einzelnen Anteile nach Folgender Folie in starker Abhängigkeit von der Temperatur für das thermische NO_x.

NO_x-Bildung



NO - Bildungsanteile bei Kohle-Feuerung

Schadstoffe

Bei anderen ausgewählten technischen Verbrennungsprozessen sind die NO-Emissionen analog zu bestimmen. Dabei liegt der N-Anteil im Brennstoff bei:

Brennstoff	N / Massen-%
Heizöl S	1,5
Heizöl L	0,7
Gas	0,3
Braunkohle	0,4-0,6
Steinkohle	1,0-1,5

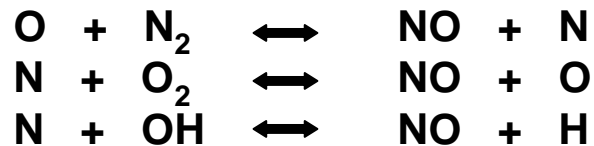
Brennstoff-NO wird aus dem organisch in der Rohkohle gebundenen Brennstoff-N gebildet. Dieser N-Gehalt wird teils über die Pyrolysegase freigesetzt, teils verbleibt er im Koks.

Schadstoffe

Verbleib des Stickstoffs der Rohkohle	Anteil zum Gesamtstickstoff
Flüchtige	60 %
Koks	40 %

Die Umsetzung zu NO erfolgt über Zwischenreaktionen mit den Zwischenprodukten HCN, NH₂- u.a. .

Thermisches NO wird durch die Umsetzung des Luft-Stickstoffs bei hohen Temperaturen bestimmt (Zeldovich-Mechanismus)



Schadstoffe- NOx

Die starke exponentielle Temperaturabhängigkeit zwingt dazu, nicht die mittleren sondern die **höchsten** tatsächlichen Verbrennungstemperaturen (z.B. Flammentemperaturen mit Temperaturfluktuation) bei der NO-Bildung zu beachten. Als Anhaltswerte gelten deshalb die Flammen – bzw. **adiabaten** Verbrennungstemperaturen, die abhängig vom Heizwert und Luftverhältnis – bei Erdgas-, Heizöl- und Steinkohlefeuerungen besonders hoch sind. Bei Braunkohlefeuerungen ist deshalb der Anteil des thermischen NO geringer. Die Bildung von prompten NO läuft unter Angriff von Luftstickstoff durch Kohlenwasserstoffradikale ab. Er spielt kaum eine Rolle (< 5 % des insgesamt gebildeten NO). NO tritt durchschnittlich mit > 90 % der NO-Konzentration auf und reagiert dann zu NO₂ bei Temperaturen unter 650 °C.

Maßnahmen

Maßnahmen zu NO-Reduzierung sind während des Verbrennungsprozesses (primär) vor allem durch

- die Absenkung der Flammentemperatur und
- die Verringerung der NO-Bildung durch Reduktionsbedingungen (kein erhöhtes Sauerstoffangebot!) zu erreichen.

So kann bei **Braunkohlefeuerungen** durch eine Luft- bzw. Brennstoff-Stufung im Brennraum ein NO-Niveau erreicht werden, das den gesetzlichen Emissionsbedingungen entspricht.

Wird die Verbrennung in den Brennern unterstöchiometrisch z. B. bei $n \approx 0,85$ geführt, bilden sich geringe NO-Konzentrationen wegen der unvollkommenen, bei geringer Temperatur ablaufenden Reaktion. Aber der CO-Anteil ist - auch wegen des geringen Sauerstoffangebotes – sehr hoch. Durch Ausbrandluft (ABL) kann ein CO-Abbau zu CO_2 erfolgen, ohne das die Temperatur und der NO-Anteil übermäßig ansteigen:

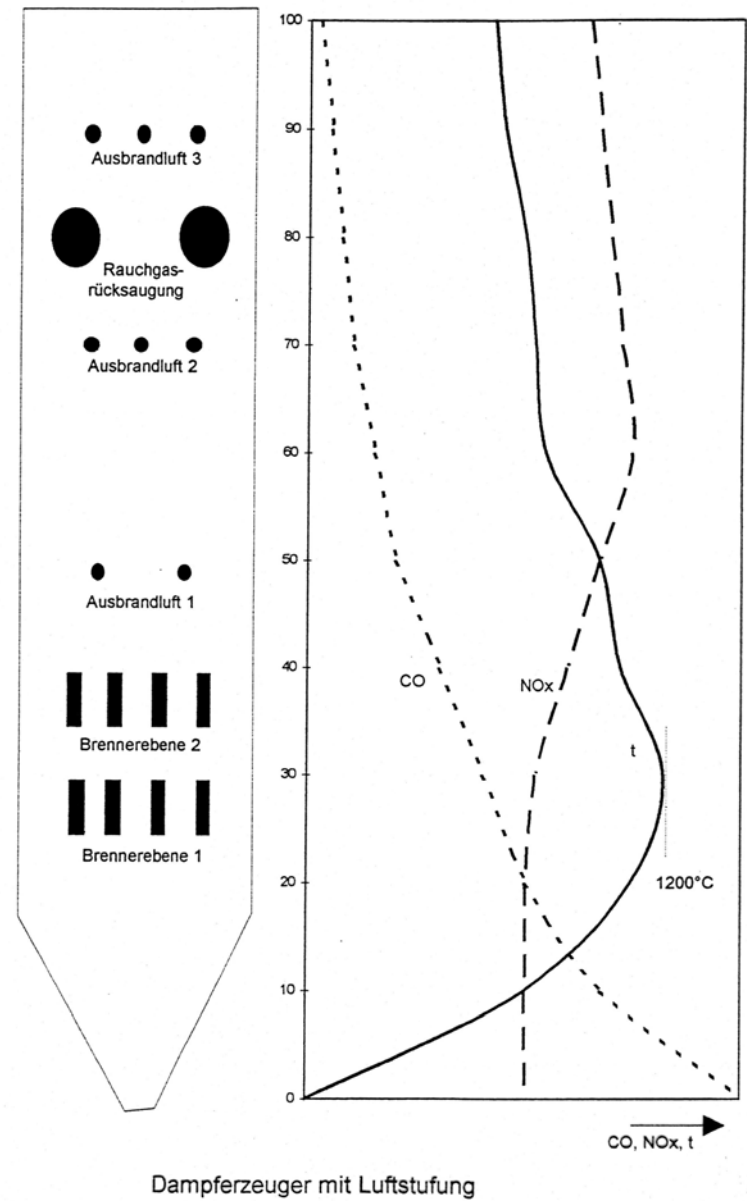
$$n_{\text{gesamt}} = n_{\text{primär}} + \Delta n_{\text{ABL}}$$

z. B. 1,15 = 0,85 + 0,30

Schadstoffe

Der Dampferzeugerbrennraum erhält damit die Ausrüstung wie das Beispiel eines Dampferzeugers für einen großen Braunkohlenblock zeigt. Analog sind die Bemühungen bei Gasturbinen zu bewerten. So werden durch intensive Vormischung von Luft und Gas (bzw. Verdampften von Heizöl) bei der Verbrennung niedrige, gleichmäßige Verbrennungstemperaturen erreicht und Temperaturspitzen abgebaut. (Vormischbrenner Fa. Siemens).

Luftstufung-Ausbrandluft



Dampferzeuger mit Luftstufung

NO_x-Emissionen

Verbrennungsprozess	NO _x als NO ₂		
	Konzentration ^{a)} im Abgas mg/m ³	Emission pro Brennstoff g/kg	Emission pro Wärmeeinheit des Brennstoffs mg/kWh
<u>Kraftwerksfeuerungen</u>			
Steinkohle Staubfeuerungen mit flüssigem Ascheabzug	1200 ... 3000	13 ... 30	1400 ... 3600
mit trockenem Ascheabzug	700 ... 1800	8 ... 20	900 ... 2300
Braunkohle	600 ... 1000	4 ... 8	850 ... 1400
Industrielle Rostfeuerungen	150 ... 650	2 ... 9	200 ... 950
Industrielle Ölfeuerungen	300 ... 1100	3,5 ... 13	300 ... 1200
Industrielle Gasfeuerungen	100 ... 800	0,4 ... 3,4 ^b	85 ... 700

Stickstoffoxid-Emissionen verschiedener ausgewählter technischer Verbrennungsprozesse ohne Anwendung besonderer Minderungsmaßnahmen

NO_x-Emissionen

<u>Hausheizungen</u>			
Öl-Gebläse-Brenner	80 ... 250	1 ... 3	80 ... 260
Gas-Gebläse	60 ... 170	0,2 ... 0,7 ^b	50 ... 150
Gas, atmosph. Brenner	100 ... 200	0,4 ... 0,9 ^b	85 ... 170
<u>Kraftfahrzeuge^{c)}</u>			
PKW mit Ottomotor	1000 ... 8000	10 ... 84	900 ... 7000
Leerlauf	20 ... 50	0,2 ... 0,6	18 ... 50
mit Dreiwegekatallysator λ -Regelung	40 ... 400	0,4 ... 4	35 ... 350
PKW und LKW			
mit Dieselmotor	400 ... 3000	12 ... 40	1000 ... 3500
Leerlauf	20 ... 50	0,8 ... 2	70 ... 180

Stickstoffoxid-Emissionen verschiedener ausgewählter technischer Verbrennungsprozesse ohne Anwendung besonderer Minderungsmaßnahmen

- ^a Die angegebenen Abgaskonzentrationen beziehen sich teilweise auf unterschiedliche Luftüberschusszahlen (= unterschiedliche Abgasverdünnung); die dadurch bedingten Abweichungen liegen im Bereich der angegebenen Bandbreiten.

NO_x-Emissionen

- b g/m³ Gas.**
- c Bei Kraftfahrzeugen werden die Schadstoffemissionen meistens in Masse pro gefahrener Strecke angegeben. Für den hier durchgeführten Vergleich der Abgaskonzentrationen verschiedener Verbrennungsprozesse konnten nur Arbeiten verwendet werden, die Angaben über Schadstoffkonzentrationen enthielten, z. B. ermittelt aus Motorenprüfstands-Untersuchungen. Die üblicherweise in ppm angegebenen NO₂-Emissionen wurden mit der Dichte von NO₂ (NO₂= 2,05 mg/cm³) in mg/m³ umgerechnet.**

Eine leider oft angewandte Methode ist das Einblasen von Wasser oder Dampf in die Gas- (bzw. Öl-) Flamme, was die Flammentemperatur senken soll. Die gesetzlichen Emissionswerte von NO_x werden oft erst bei einem Verhältnis:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Wasser}}}{\dot{m}_{\text{Heizöl}}} \geq 1 \dots 1,3$$

erreicht.

(Beachten Sie bitte die energetischen Einflüsse!)

NO_x-Emissionen

Rauchgas-Rückführung aus der kalten Schien des DE-Traktes in den Brennerraum wirkt ebenfalls temperaturabsenkend.

Reichen diese Maßnahmen nicht aus, so muss der NO_x-Gehalt im Rauchgas durch eine sekundäre Maßnahme, die katalytische Entstickung gesenkt werden.

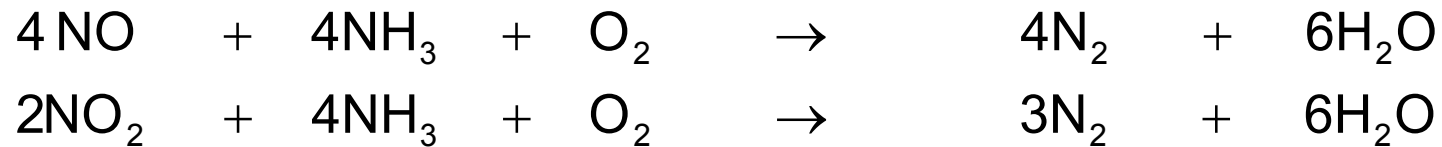
Rauchgasreinigungsanlagen

Katalytische Entstickung

Reichen die primären Maßnahmen zur NO-Reduzierung nicht aus, so kann durch eine katalytische Reduktion – z.B. bei Stenkohle- Dampferzeugern die Absenkung erreicht werden:

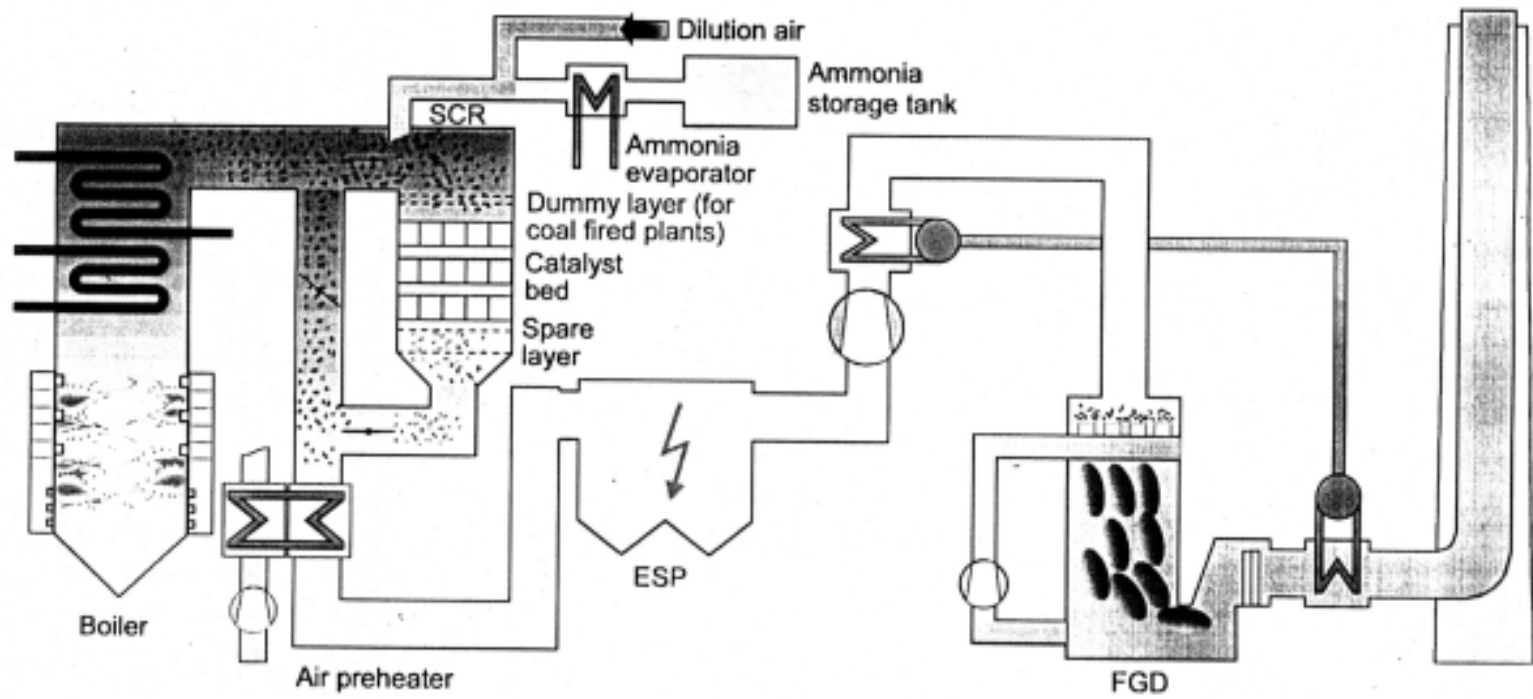
Sekundärmaßnahmen mit NH₃

**Katalysator
bei 300-400°C**



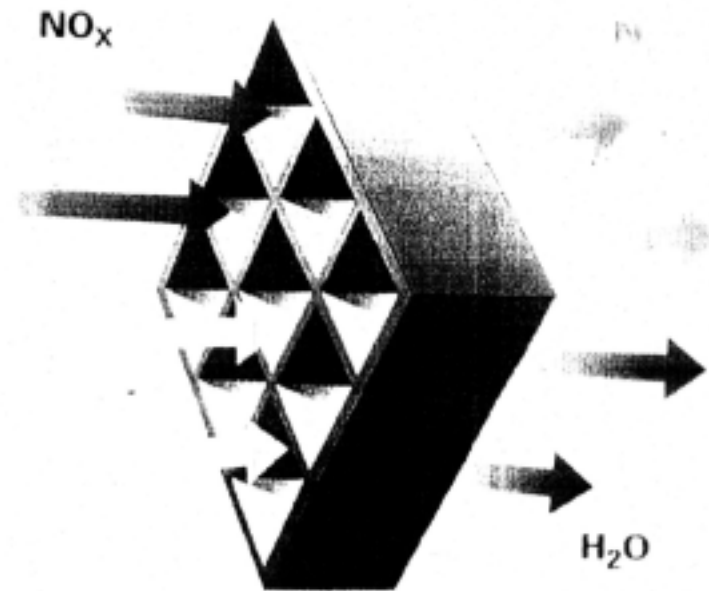
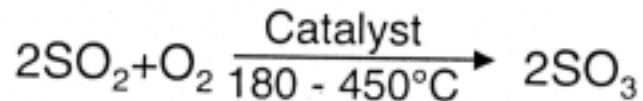
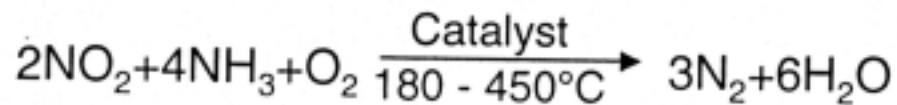
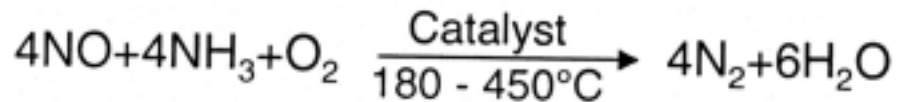
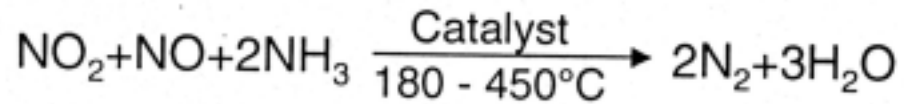
Der Prozess läuft am günstigsten bei Temperaturen bei 300 bis 400 °C ab und ist deshalb im Leerzug des DE angeordnet. Als Katalysator dient ein Keramik-Waben-Katalysator mit Platin-Beschichtung. Anwendungsfälle siehe KW Heilbronn und KW Rostock.

SCR-Fließbild

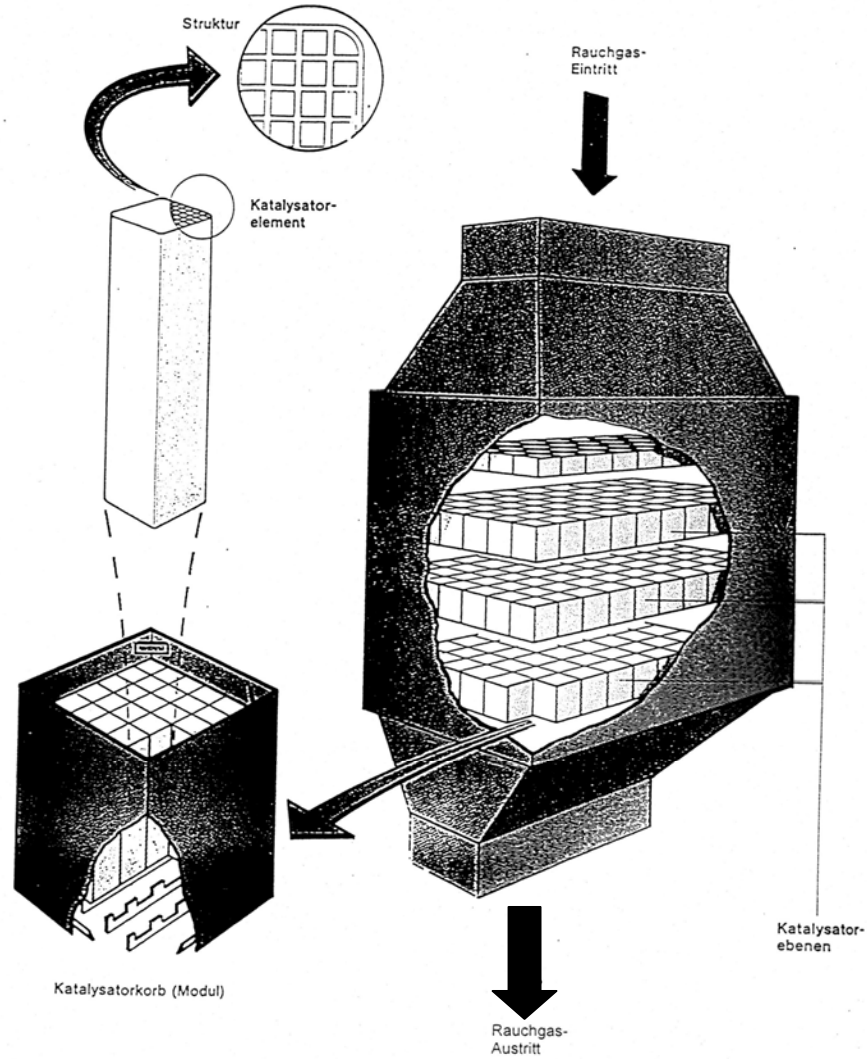


SCR-Fließbild

Chemical Reactions:

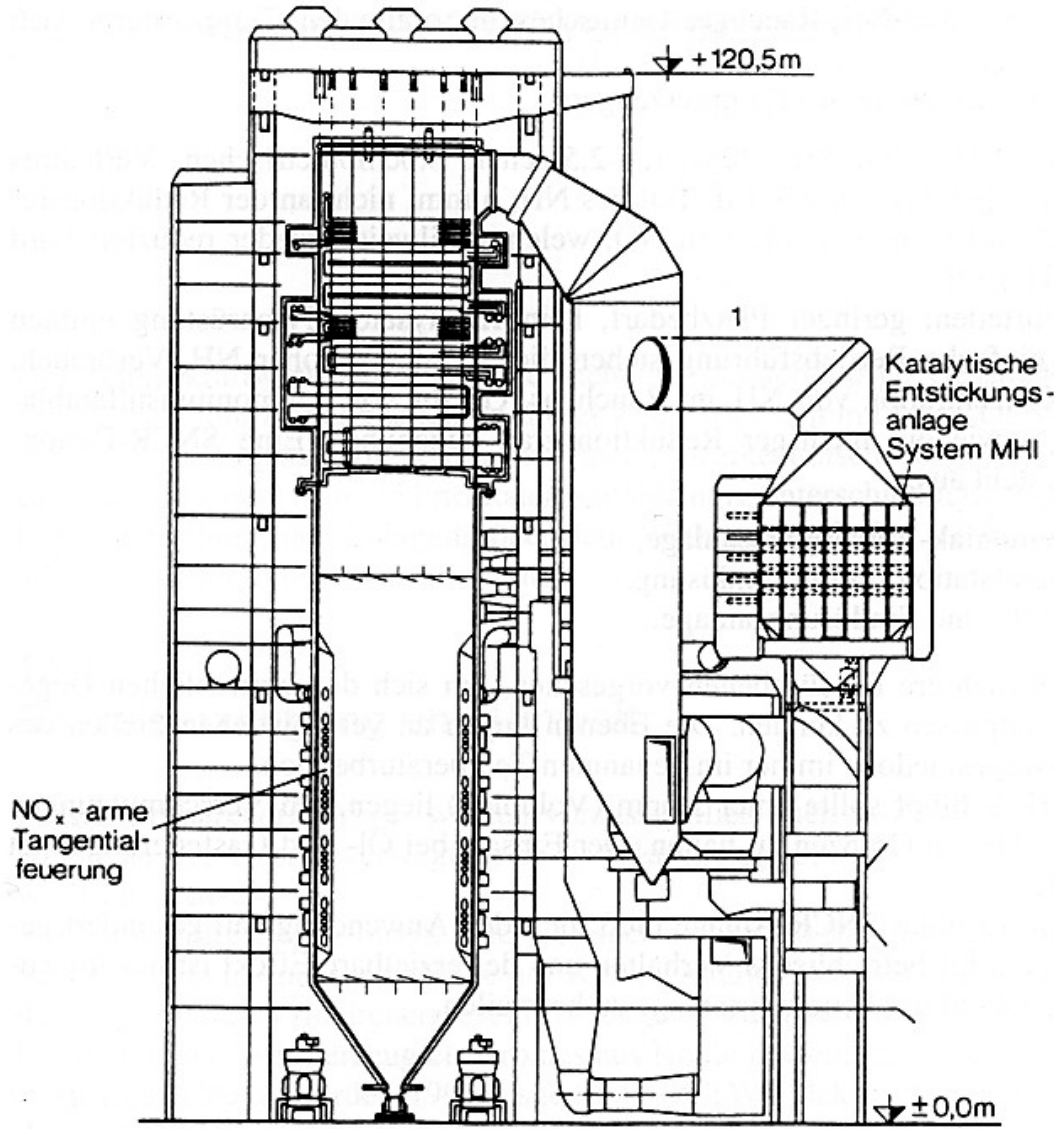


SCR-(Selektive-Katalytische Reduktion)



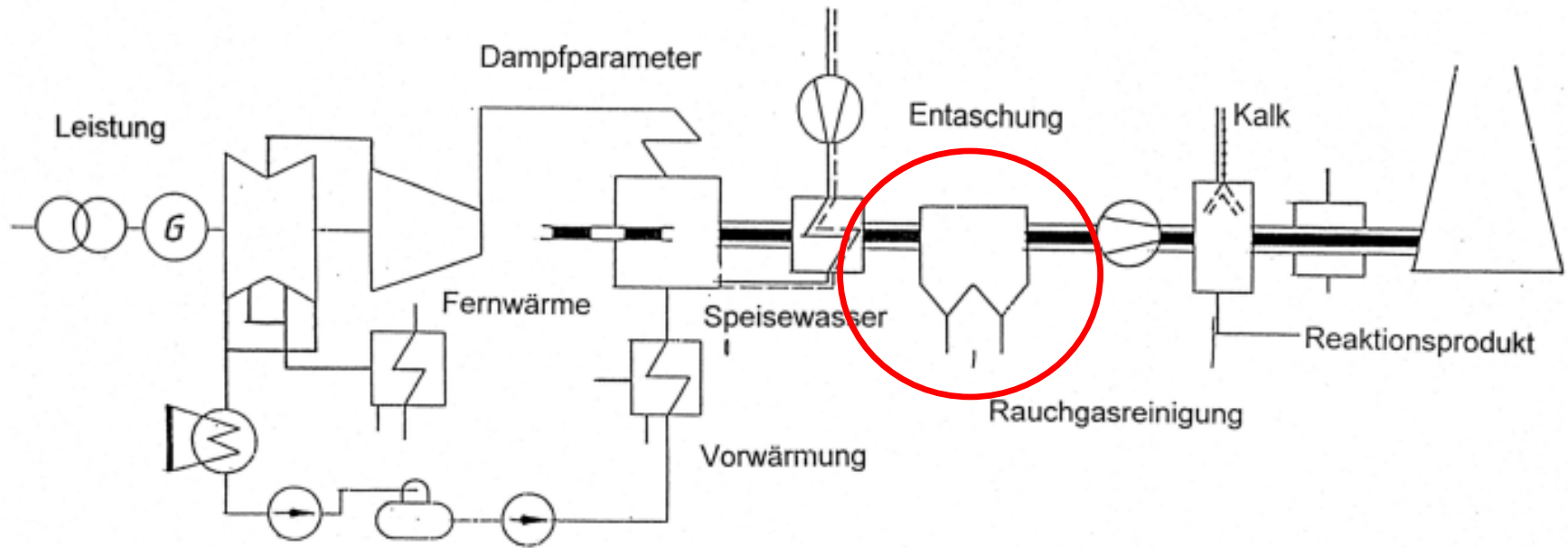
Modularer Aufbau

SCR-(Selektive-Katalytische Reduktion)



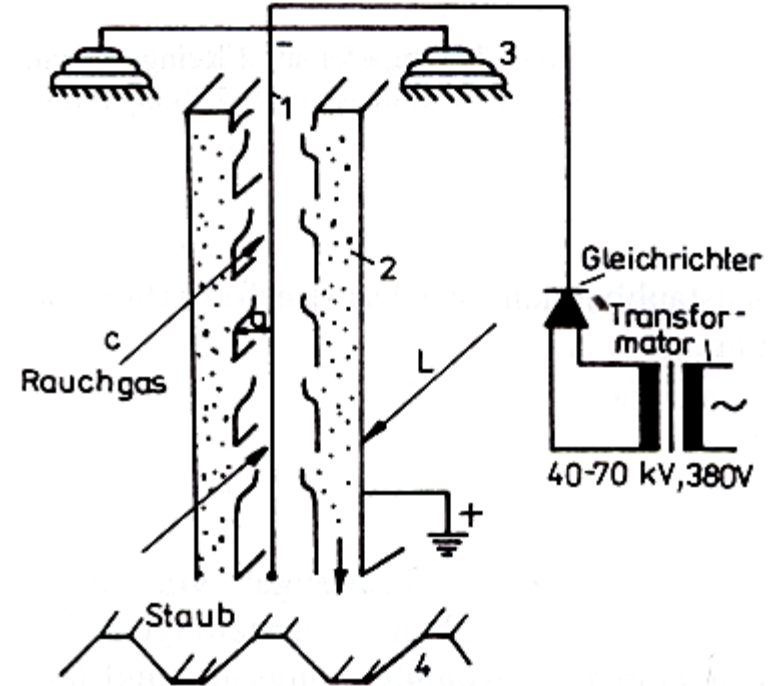
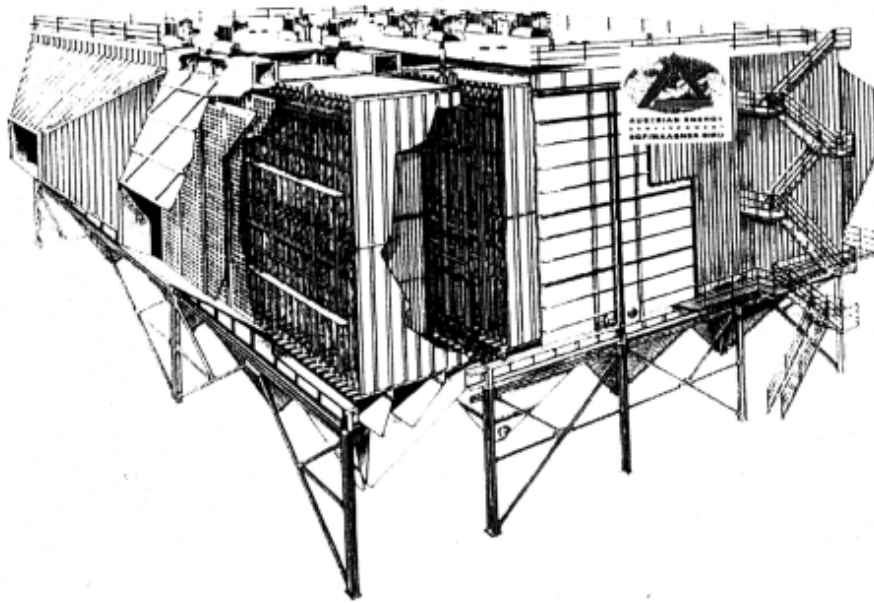
**Einbau eines Denox-Kat
an einem 740-MW-DE
Steinkohle
EVT, 2250 t/h Dampf
p= 205 bar
t_ü/t_zü= 540°C**

Entstaubung



relativer

ESP-Elektrostatische Filter

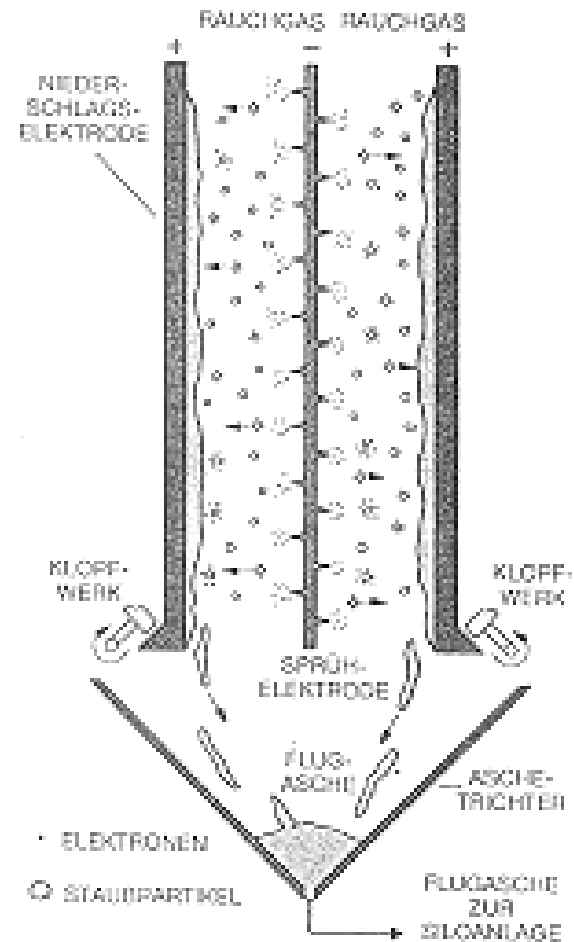


Gastemperatur in °C	100	200	300	400
Durchschlagfestigkeit in kV	13	10	7,5	6

- 1 Sprühelektrode**
- 2 Niederschlagselektrode**
- 3 Stützisolator**
- 4 Aschesammeltrichter**
- a Abstand der Elektroden**
- c Rauchgasgeschwindigkeit**
- L horizontale Länge**

ESP-Elektrostatische Filter

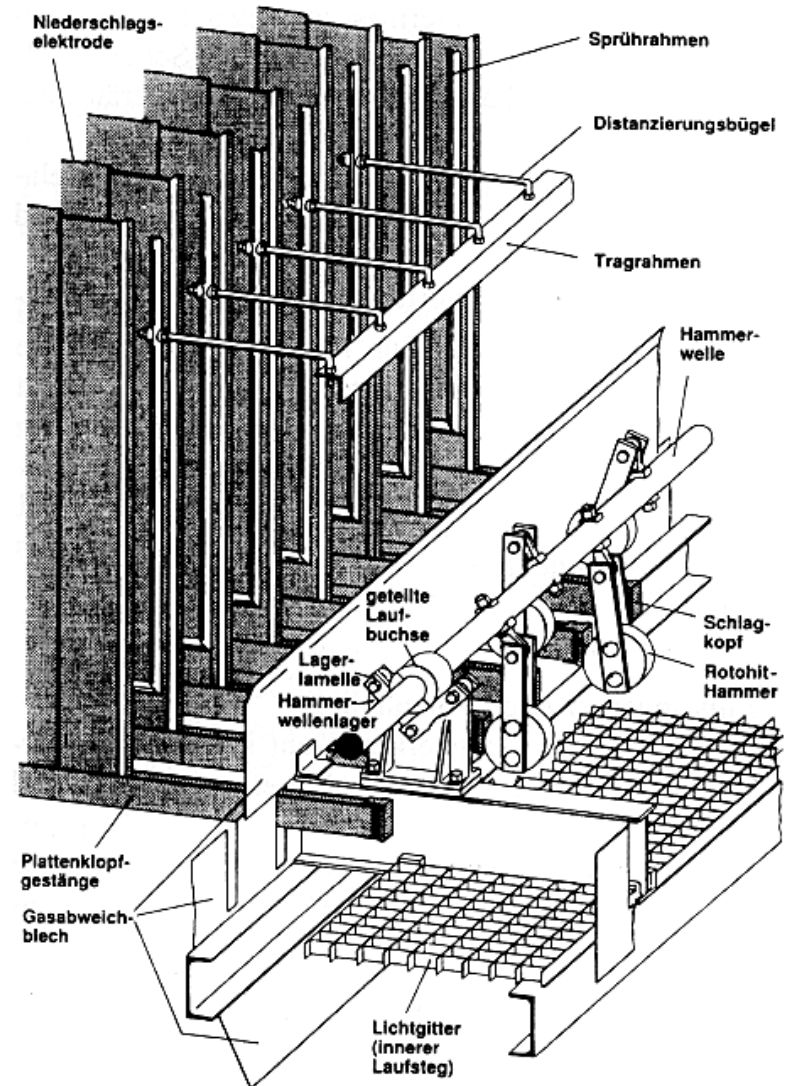
Von den Stickoxiden weitgehend gereinigt, gelangen die Rauchgase in den Elektrofilter, der im wesentlichen aus Metallplatten und Sprühelektroden besteht. In ihm laden sich die Staubteilchen elektrisch negativ auf und bleiben an den positiv geladenen Niederschlagselektroden (Metallplatten) haften. Durch regelmäßiges Klopfen löst sich der Staub, er fällt in einen darunterstehenden Trichter. Bis zum Abtransport lagert der Flugstaub in Aschebunkern. Die Flugasche ist kein Abfallstoff, sondern ein Stoff für die Zementindustrie.



ESP-Elektrostatische Filter

Baugruppen:
Entstaubergehäuse mit Roh- und Reingaskanälen und Staubaustrag, Sprüh- und Niederschlagssystem mit Abreinigungsverfahren, Elektrische Energieversorgung Mit Transformator

**Klopfvorrichtung für Niederschlags-
elektroden, Lurgi**

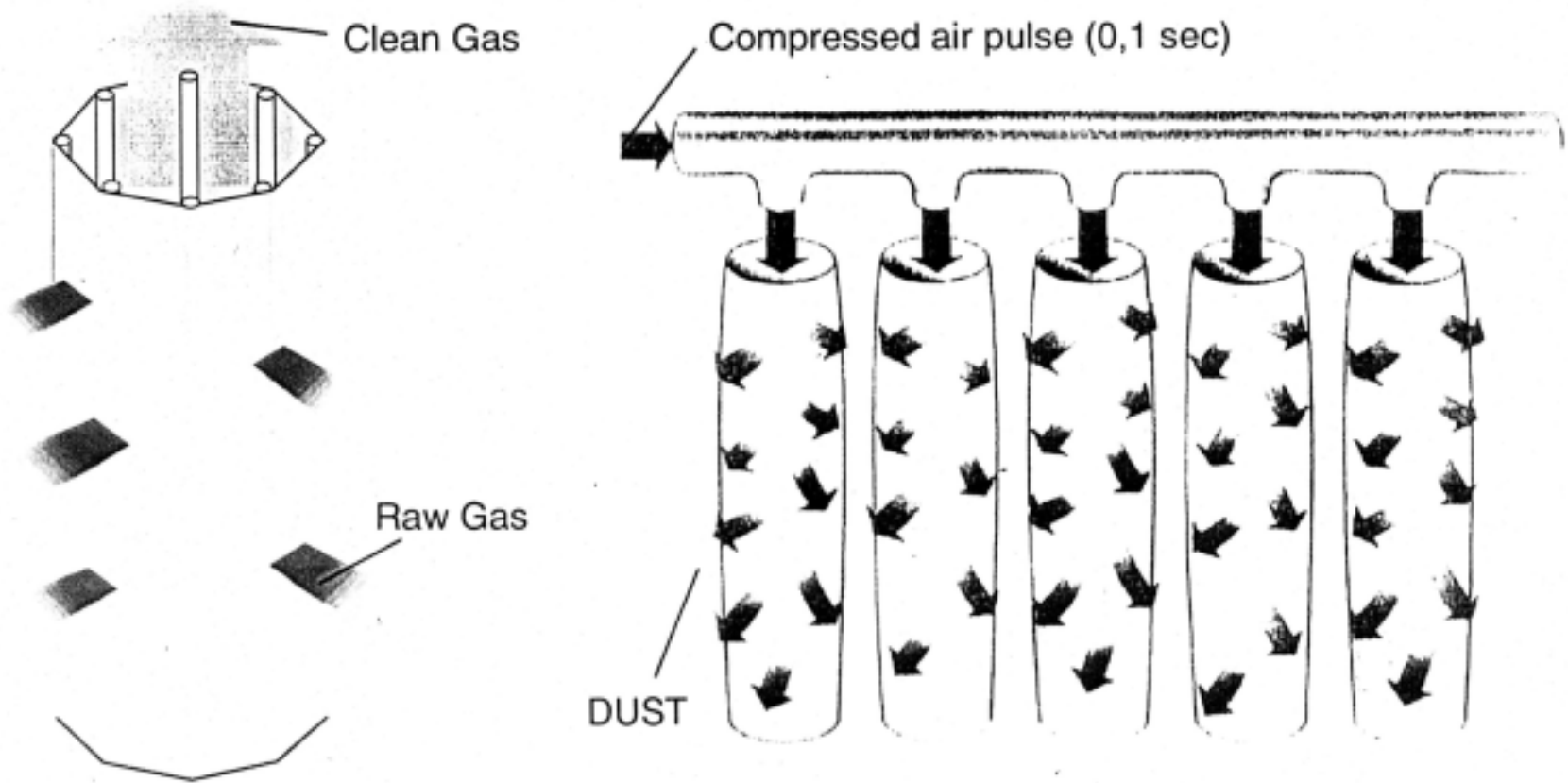


ESP-Elektrostatische Filter

Vorteile des Elektroabscheiders:

Entstaubungsgrad von über 99,5 % und Emissionswerte von $< 30 \text{ mg/Nm}^3$
Reinigung großer Gasmengen mit einem Aggregat (2,5 Mio. m^3/h ; 450 MW-Block)
Druckverlust von nur 4-8 mbar
Spezifischer Energiebedarf von 0,07-0,12 kWh pro 1000 m^3 Gas
Niedriger Bedienungs- und Wartungsaufwand

Fabric Filter (Patronenfilter), optipulse Baghouse



Entschwefelung

Der SO₂-Anteil im Rauchgas wird aus dem verbrennlichen Schwefelanteil S_c im Brennstoff ermittelt.

Es kann als Anhaltswert bei $Y_{a_{S_c}} = 1\%$ mit einer Konzentration von $3500 \text{ mg}_{\text{SO}_2} / \text{Nm}^3 \text{RG, tr}$ bei 6% O₂ gerechnet werden.

Bei der Entschwefelung werden aus der Vielzahl von Verfahrensvarianten 2 Verfahren hier herausgestellt:

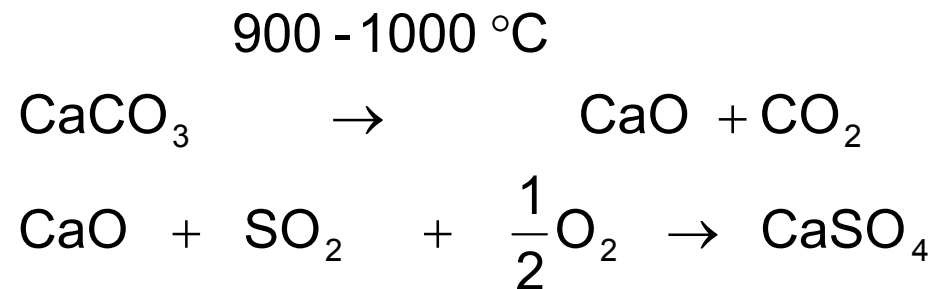
-Trockenes Verfahren

-Nassentschwefelung

Trockene Entschwefelung

Bei Temperaturen um 900-1000°C – Temperaturfenster – kann durch Zugabe von Kalziumcarbonat (CaCO_3) oder Einblasen von gebranntem Kalk (CaO) in den Feuerraum eine Entschwefelung durch Bildung von CaSO_4 – wenn auch nur mit geringem Erfolg erreicht werden.

Es sind die Reaktionen möglich:



CaSO_4 ist ein trockenes Produkt, (CaO ist ebenfalls noch in der Asche!)

Trockene Entschwefelung

Entschwefelungsgrad

$$\eta_s = \frac{[\text{SO}_2]_{\text{Rohgas}} - [\text{SO}_2]_{\text{Reingas}}}{[\text{SO}_2]_{\text{Rohgas}}}$$

$$\eta_{s_{\text{trocken, Staubfeuerung}}} = 0,40 \text{ bis } 0,45 \quad \text{Sehr niedriger Wert!}$$

**Begünstigend wirkt der CaO-Anteil in der Kohleasche.
→ Eigenentschwefelung**

Ausnahme: Für Zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen sind durch den mehrmaligen Umlauf und damit längere Reaktionszeiten.

Werte von $\eta_{s_{\text{trocken, ZWSF}}} \geq 0,80$

bei einem (Ca/S) >2,5 möglich und wurden erreicht.

Der Investitionsaufwand für die trockene, direkte Entschwefelung ist gering und sie kann in kurzer Zeit nachgerüstet werden. Die gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte für SO₂ werden damit aber selbst bei S-armen Braunkohlen nicht erreicht.

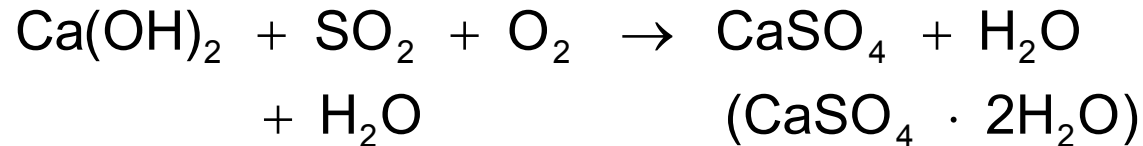
Nasse Entschwefelung

Bei der trockenen Entschwefelung kann – bis auf zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen – nur mit geringen Effekten der Schadstoffreduzierung gerechnet werden.

Deshalb hat sich international das nasse Verfahren durchgesetzt.

Das Rauchgas (Rohgas) wird in einem Absorberturm mit einer Lösung aus gelöschtem Kalk und Wasser gewaschen und das Reingas (Rauchgas nach der Entschwefelung) meistens in den Kühlturm geführt bzw. wieder auf ca. 80 °C aufgewärmt in den Kamin geleitet.

Das Reaktionsprodukt Gips kann in der Bauindustrie weiter verwendet werden.

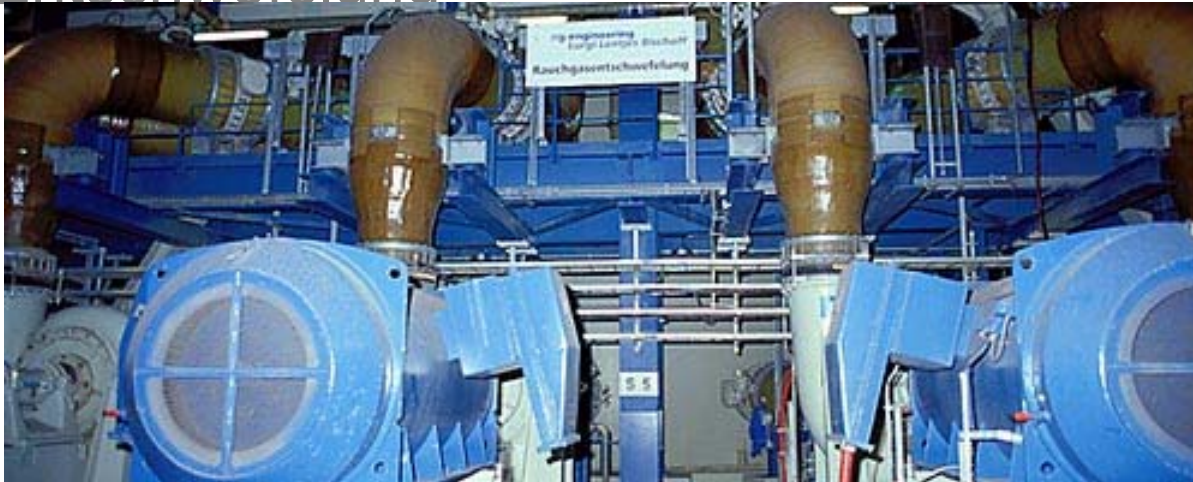


das Ca/S-Verhältnis
liegt bei ca. 1,05!
Der Entschwefelungsgrad
liegt über 90 %!

Ausgangsstoff Kalkhydrat oder Kalkstein CaCO_3



Entschwefelung



Umwälzpumpen



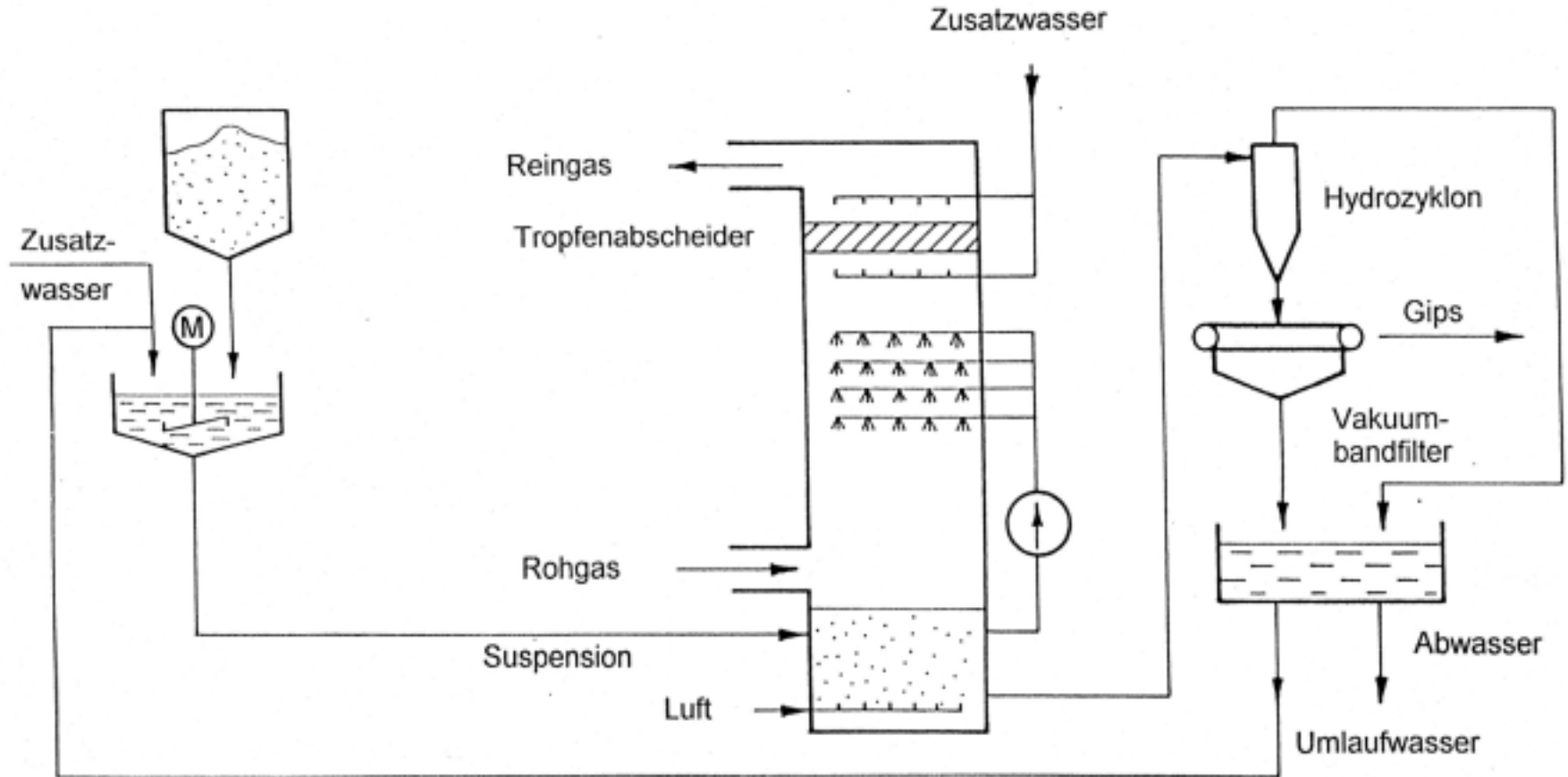
Gipshalden

Nassentschwefelung (Gips-verfahren)

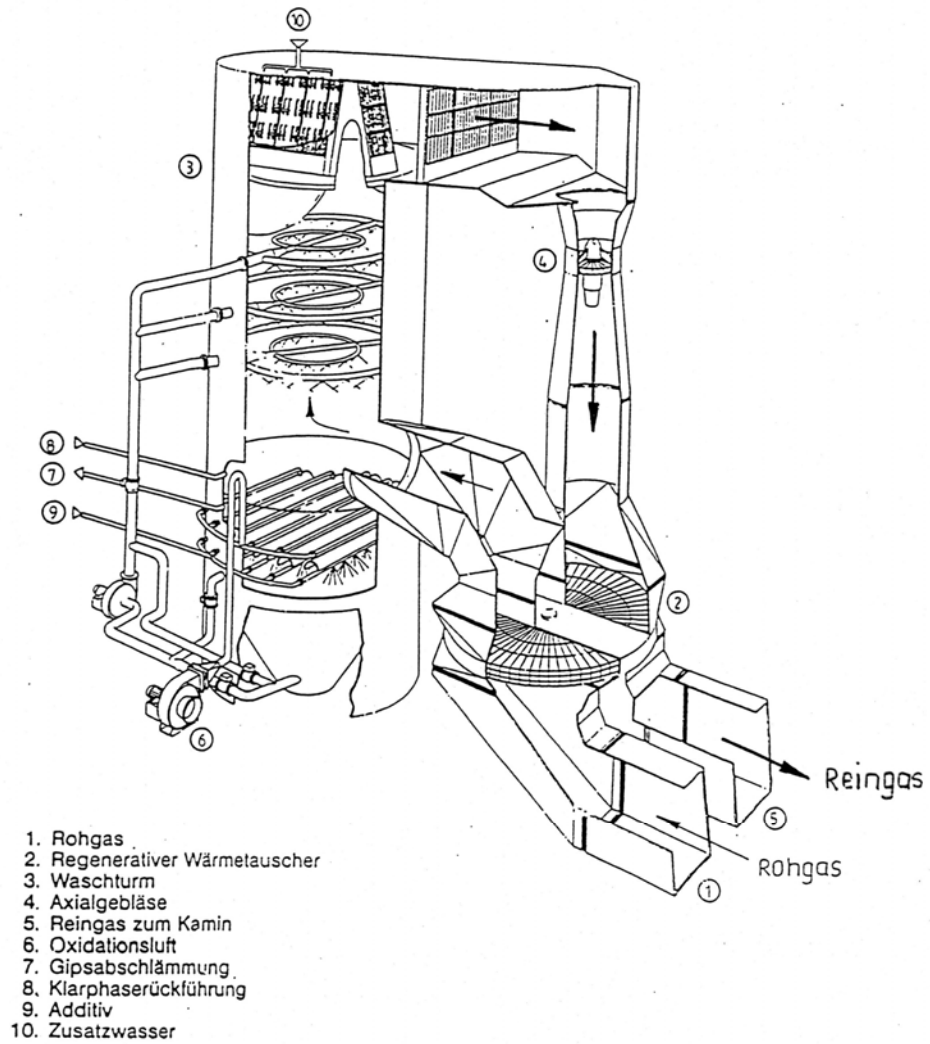
KALZIUMHYDROXID

ABSORBER

GIPSABSCHIEDUNG



Nassentschwefelung

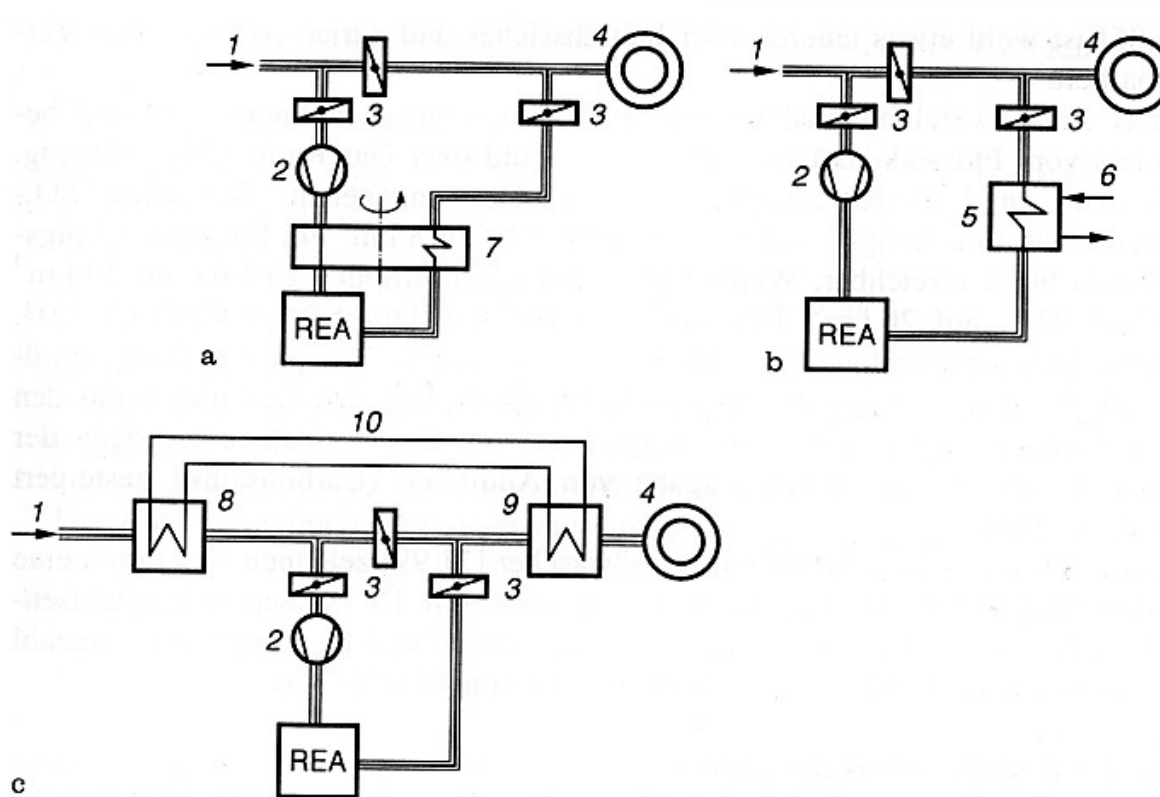


Verfahrensvergleich

	Kalk-Gips-Nass-Verfahren	Kalkstein-Gips-Nass-Verfahren	Halbtrocken-Verfahren	Kalksteinadditiv-Verfahren (KAV)	Wirbelschicht-feuerung
Verfahrensprinzip	Rauchgaswäsche nach Dampferzeuger		Sprühabsorption nach Dampferzeuger	Trockenabsorption im Dampferzeuger	Kalksteinsplitt, Kalkhydrat, Dolomit in Wirbelschicht
Entschwefeler	Ca(OH) ₂ -Suspension	CaCO ₃ -Suspension	Ca(OH) ₂ -Suspension	CaO aus CaCO ₃	z.B. CaO aus CaCO ₃
Entschwefeleraufwand					
mol CaO/mol SO ₂	1,02	1,05	1,3 ... 1,5	2	1,5 ... 2,5
kg Entschwefeler t Brennstoff ,1 % S	18	33	23 ... 26	62	46 ... 78 ^{*)}
γ _o Entschwefelung	90 ... 95	90 ... 95	80 ... 90	40 ... 50	80 ... 90
Entschwefelungsprodukt	Gips (CaSO ₄ ·2H ₂ O)		Gips + Calciumsulfit	CaSO ₄ + CaO in Flugasche	CaSO ₄ + CaO in Wirbelschicht-Austrag

Betriebsdaten für einige Rauchgasentschwefelungsverfahren

Wiederaufheizsysteme für Rauchgas



Wiederaufheizsysteme für Rauchgas. **a** Regenerativer Wärmeübertrager (Regavo), **b** dampfbeheizter Wärmeübertrager, **c** Wärmeverschiebesystem, 1 Rohgas, 2 Rauchgasgebläse, 3 Drosselarmatur, 4 Schornstein, 5 dampfbeheizter Wärmeübertrager, 6 Dampf, 7 regenerativer Wärmeübertrager, 8 Wärmeübertrager Rauchgasabkühlung, 9 Wärmeübertrager Rauchgaswiederaufheizung, 10 Wärmeträger

Halbtrockenes Verfahren

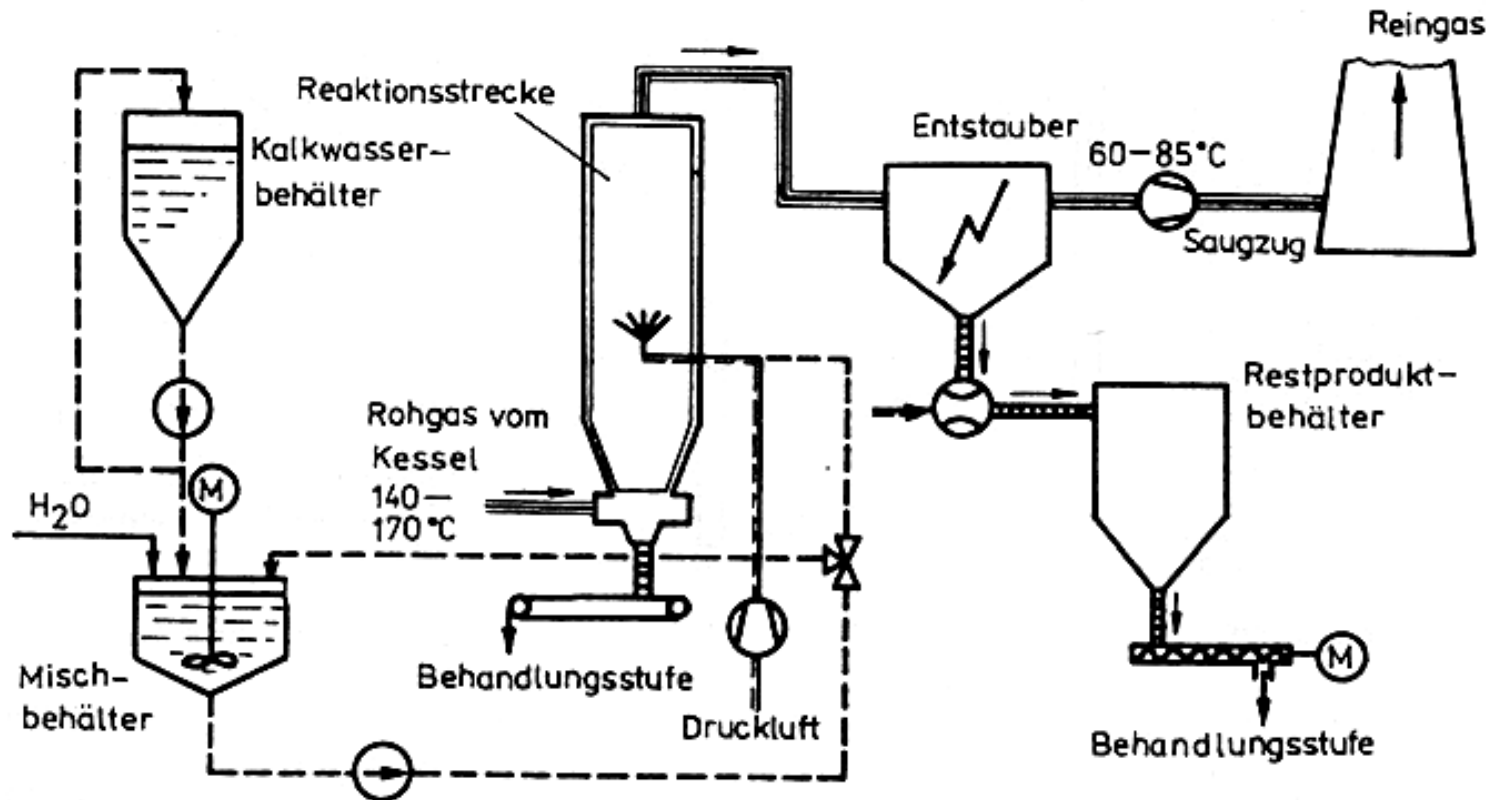
Vorteile:

kein Abwasseranfall
keine Abgasaufheizung
geringer Platzbedarf
niedrige Investitionskosten
geringer apparativer und regelungstechnischer Aufwand

Funktionsweise:

**Sprühabsorption; Eindüsung einer alkalischen Suspension aus Wasser und Kalziumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bzw. Natronlauge NaOH ,
Reaktor ist als vertikale Kontaktstrecke ausgebildet,
Es erfolgt die Verdampfung der wässrigen Phase und die Bindung der Schadgase an das kristallisierende Absorbens,
Das Reaktionsprodukt wird in einem Feststoffabscheider abgetrennt,
Rauchgas bleibt deutlich über der Sättigungstemperatur,
Die nachfolgenden Anlagenteile brauchen nicht vor der Nassphase geschützt werden.**

Prinzipschaltung halbtrockenes Verfahren



Halbtrocken-Entschwefelungsverfahren, System Düsseldorf, Lentjes

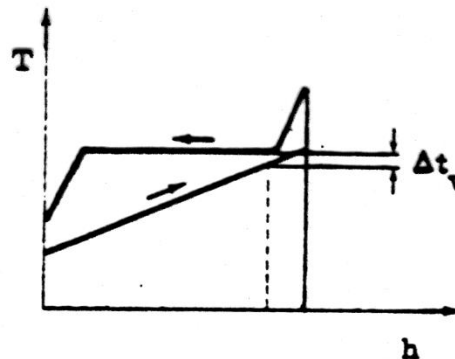
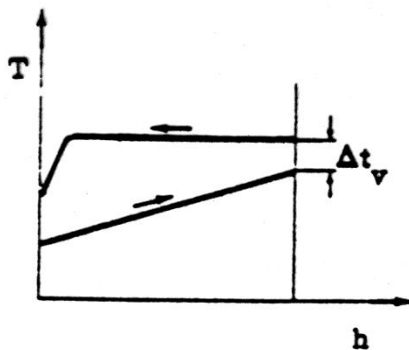
Vorwärmung des Speisewassers mit Anzapfdampf

Der Anzapfdampf wird bei der Vorwärmung kondensiert!

Möglichst wenig Entropiezunahme beim Vorwärmen, aber Rücksichtnahme auf Wirtschaftlichkeit der Apparate.

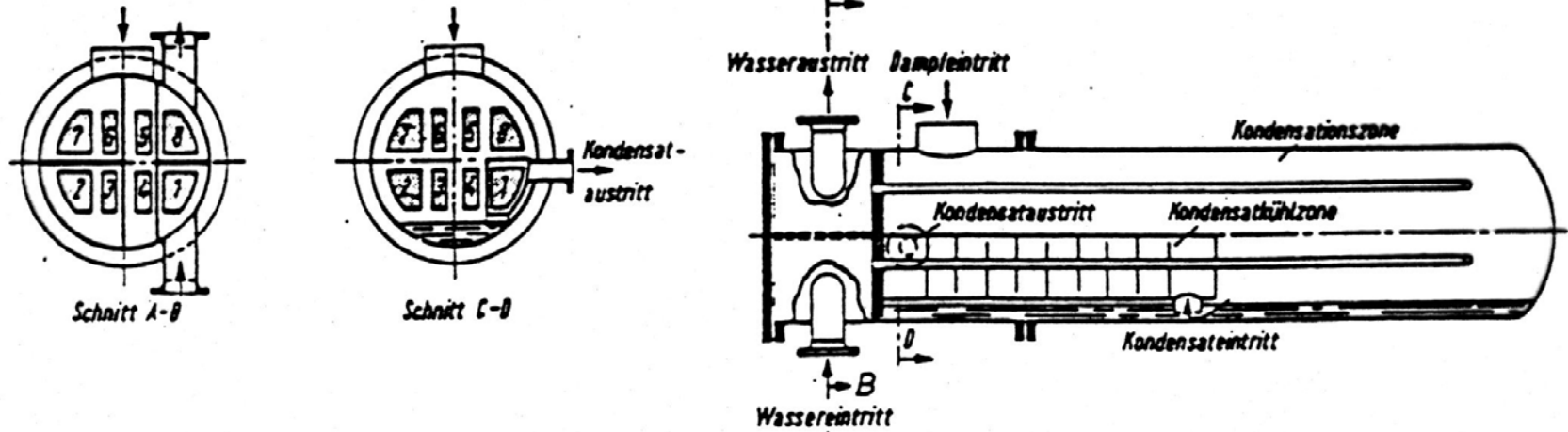
Oberflächenvorwärmer oder Mischvorwärmer als Bauform.

Temperaturdiagramme bei nassen oder überhitztem Anzapfdampf:



Niederdruckvorwärmer vor und Hochdruckvorwärmer nach der (Kreisel)-pumpe.

Speisewasservorwärmung



Oberflächenkondensator

Bauformen

(viii) Niederdruck-Vorwärmer

Abb. 6.3/7

Geradrohrvorwärmer
mit Schwimmkopf

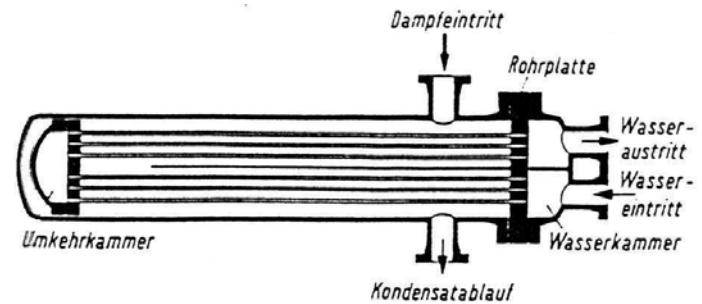
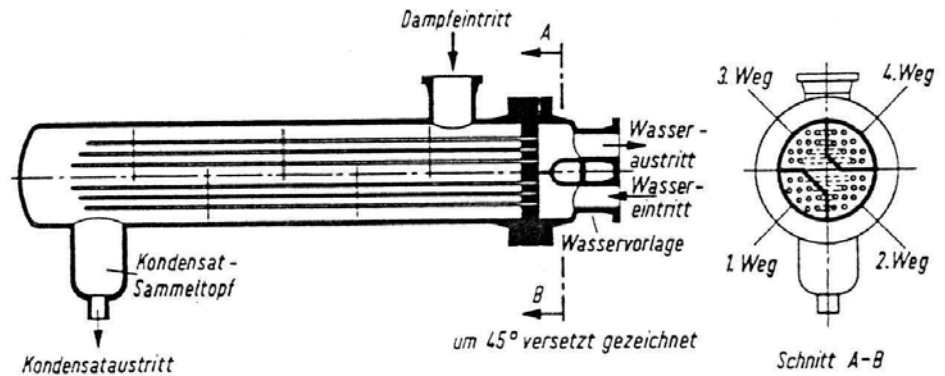


Abb. 6.3/8

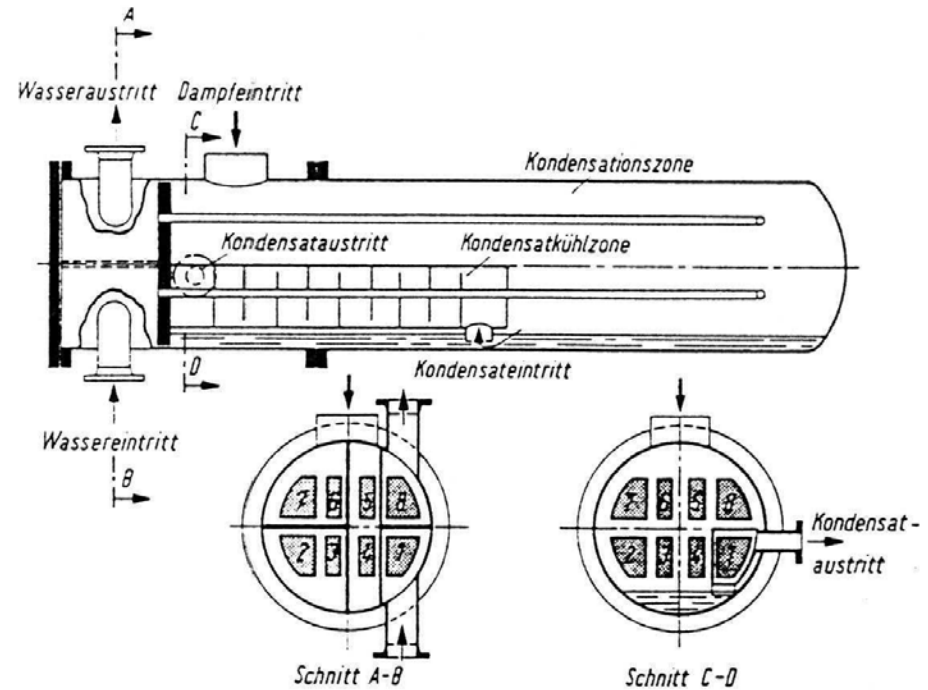
U-Rohr-Vorwärmer in
Vierwegebauart



Bauformen

Abb. 6.3/9

Vorwärmer mit eingebauter Kühlzone in Achtwege-Bauart

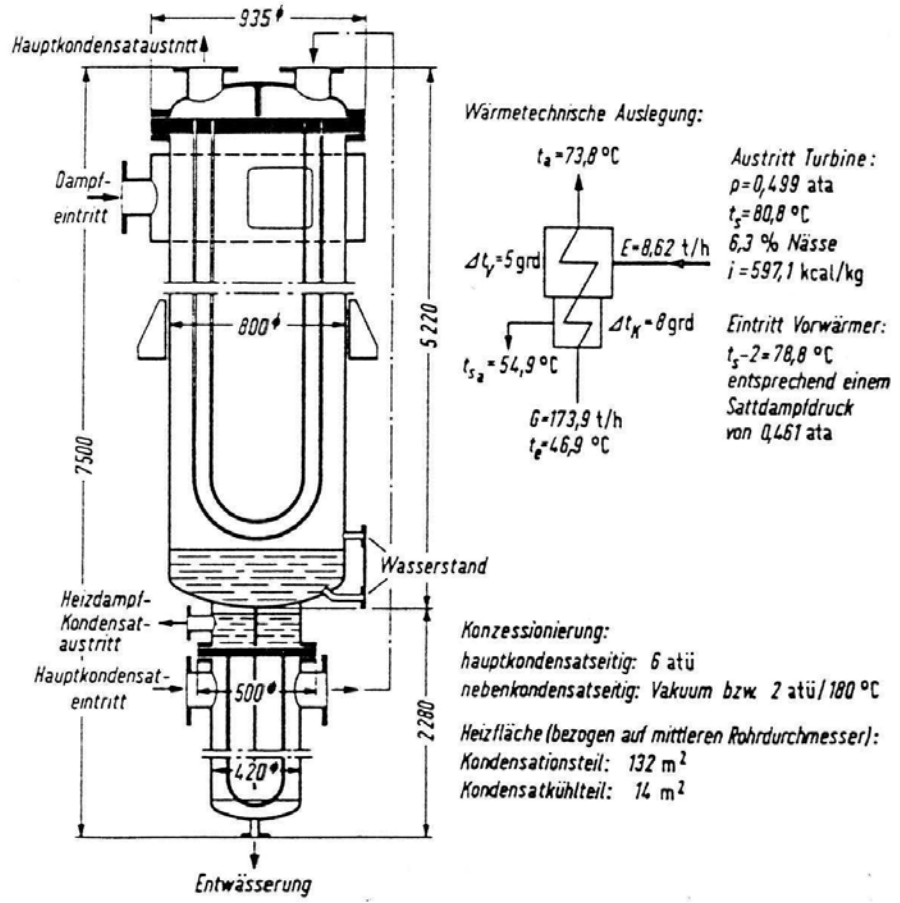


relativer

Bauformen

Abb. 6.3/10

Stehender Vorwärmer
mit angeschlossenem
Kondensatkühler



Rohrplattenkonstruktion

- (ix) Hochdruck-Vorwärmer
- (a) Rohrplatten-Konstruktion ("Apparatebau")

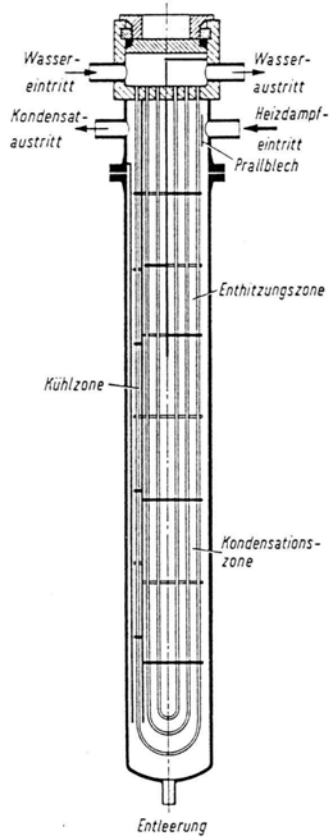


Abb. 6.3/11 Topfkonstruktion mit selbstdichtendem Deckel

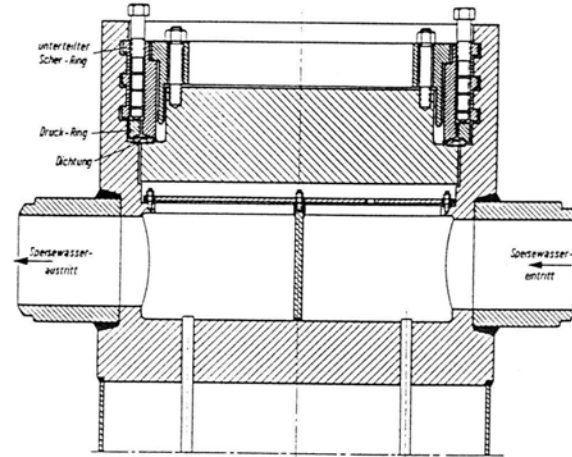


Abb. 316. Hochdruck-Vorwärmer-Wasserkammerabschluß (Worthington-Alco)

Abb. 6.3/12 Hochdruckvorwärmer-Wassersammlerabschluß

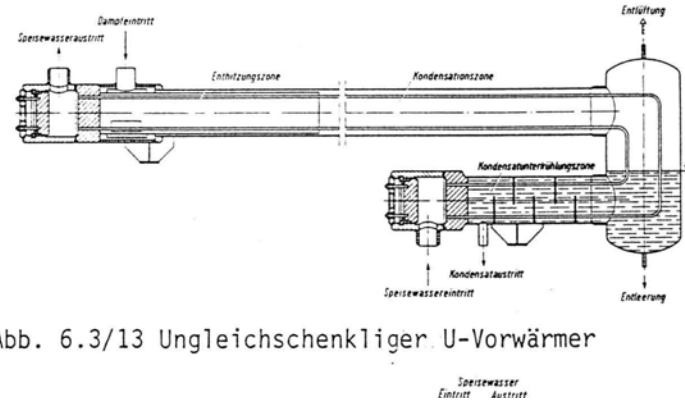
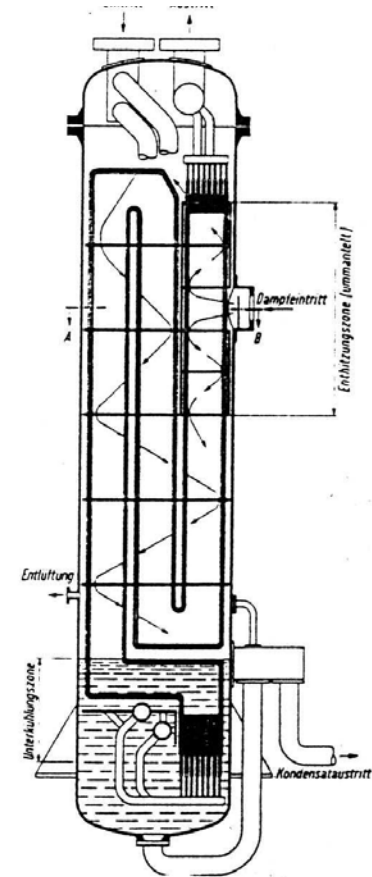
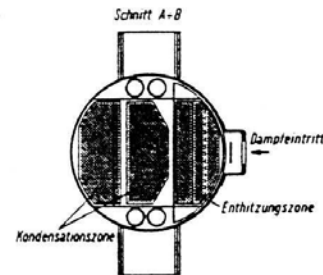


Abb. 6.3/13 Ungleichschenkliger U-Vorwärmer

Rohrbündelkonstruktion

(b) Rohrbündel-Konstruktion (mit Sammlern, "Kesselbau")

Abb. 6.3/14 Hochdruck-Vorwärmer in Sammler-Konstruktion mit Zonen für Ent-
hitzung, Kondensation und Unter-
kühlung



Chemische Wasseraufbereitung

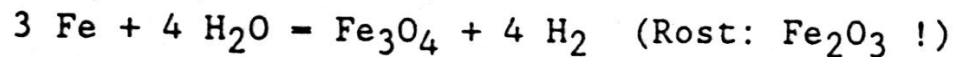
Früher Fällungsverfahren zur Enthärtung und Entkarbonisierung, z.B. "Kalk-Soda-Verfahren". Heute Ionenaustausch-Verfahren mit organischen Materialien. Erzeugung von praktisch salz- und kieselensäure-freiem Wasser möglich. Keine Dosierung erforderlich, jedoch Regenerierung.

Kationen-Stufen: Austausch der H-Ionen; Regenerierung mit HCl
Anionen-Stufen: " " OH-Ionen; " " NaOH

Mit Rücksicht auf die Möglichkeit von Kühlwassereinbrüchen in den Kondensator (Spannungsrißkorrosion von austentischem Überhitzer durch Cl-Ionen) wird in modernen Anlagen nicht nur das Zusatzwasser aufbereitet, sondern auch ein Teil oder das gesamte Kondensat durch das Ionenaustauscher geschickt.

Wasserseitige Korrosion

Im Normalfall Bildung einer Magnetit-Schutzschicht:



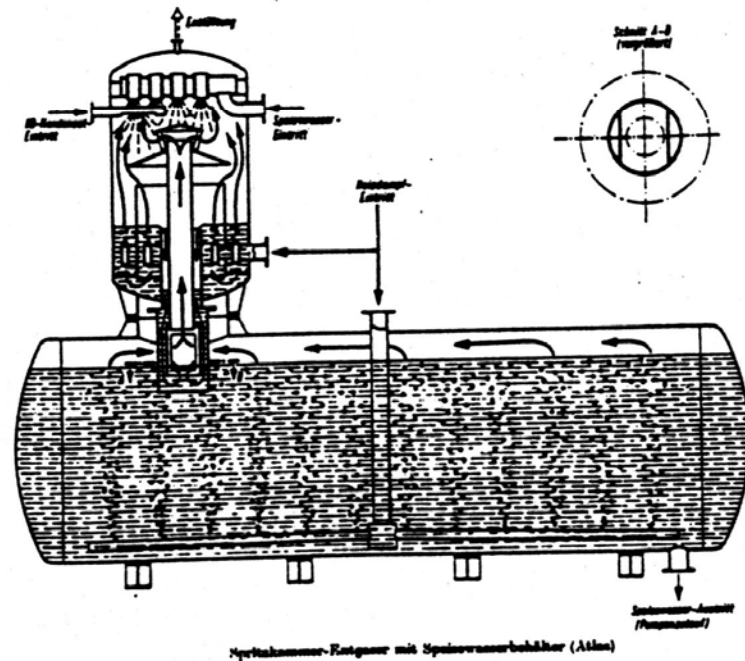
Chemische Wasseraufbereitung

Durch Säurebeizen wird vor Inbetriebnahme die innere Oberfläche des Drucksystems gereinigt, sodaß sich glatte Schutzschicht bilden kann.

Zur Vermeidung von Stillstandskorrosion: Füllung mit trockenem N_2 .

(v) Entgasung (im Speisewasserbehälter)

Auf thermischem Wege durch Aufkochen bei $105 \dots 140 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($1,2 \dots 3,6 \text{ bar}$) mittels Anzapfdampf.



Kesselspeisepumpe

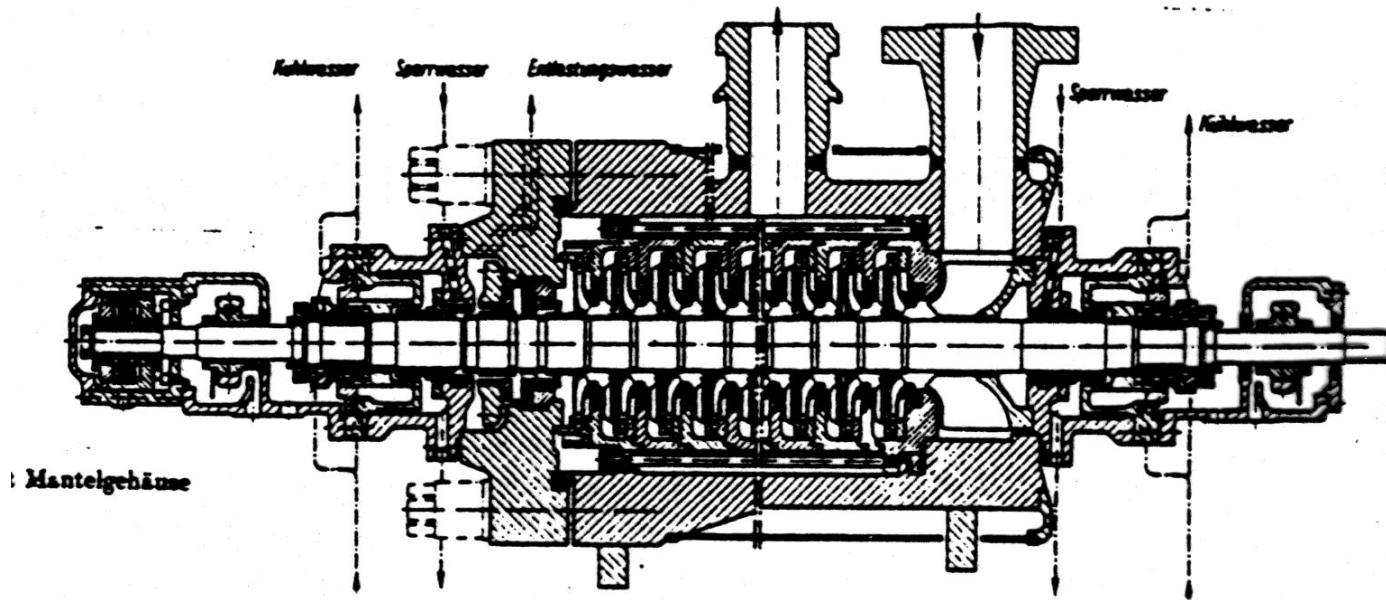
Vorschrift: mindestens zwei voneinander unabhängige und von unterschiedlichen Energiequellen (z.B. Dampfturbine, E-Motor) angetriebene Speiseeinrichtungen erforderlich. Jede muß imstande sein, beim Trommelkessel das 1,25-fache, beim Durchlaufkessel das 1,0-fache der Dampfleistung gegen Abblasedruck der Sicherheitsventile zu fördern. Meist hochoberige vielstufige Kreiselpumpen (Strömungsmaschinen, Abb.), bei kleinen Leistungen und hohen Drücken auch Kolbenpumpen.

Auslegung mit Charakteristiken: Die Differenz zwischen der mit zunehmender Fördermenge steigenden Kesselcharakteristik und fallendem Zulaufdruck ergibt bei Nennfördermenge die erforderliche Förderhöhe (m) bzw. Druckdifferenz; diese muß von der fallenden Pumpencharakteristik mindestens erreicht werden (Abb.).

Die Höhe der in der Abb. schraffierten Fläche stellt den im Speiseregulventil abzudrosselnden Druck dar (oder Drehzahlregelung der Pumpe).

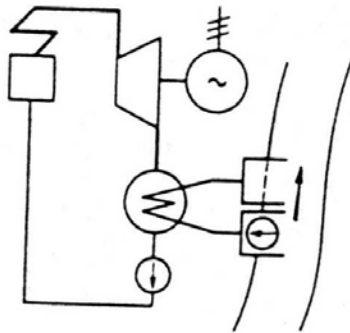
- für Kesselcharakteristik:
Genehmigungsdruck (Konzessionsdruck, bei Trommelkesseln in der Trommel): P_{konz} ;
geodätische Druckdifferenz bei Trommel: Δp_g ;
Druckverluste:

Kesselspeisepumpe



Kondensation und Rückkühlung Kühlverfahren

- Oberflächenkondensator, gekühlt mit Frischwasser (a) oder im (nassen) Kühlturm (b) mit rückgekühltem Umlaufwasser (DW 633);
- Trockenkühlturm (d) mit Einspritzkondensator (Mischkondensator, DW 633d, 644);
- Direktkondensation (im Rippenrohr, Luftkühlung, c, DW 633): selten, nur bei absolutem Wassermangel (Druckverlust des Abdampfes = Temperaturverlust!)

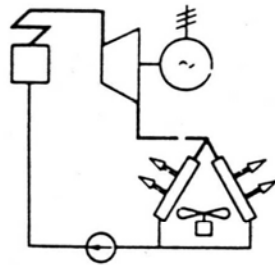


(a) Oberflächenkondensator
mit Frischwasserkühlung

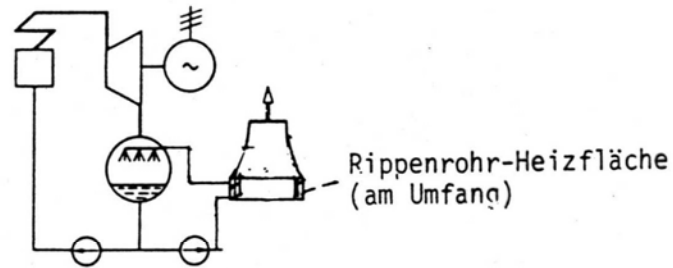


(b) Oberflächenkondensator
mit Naßkühlturm

Kühlverfahren



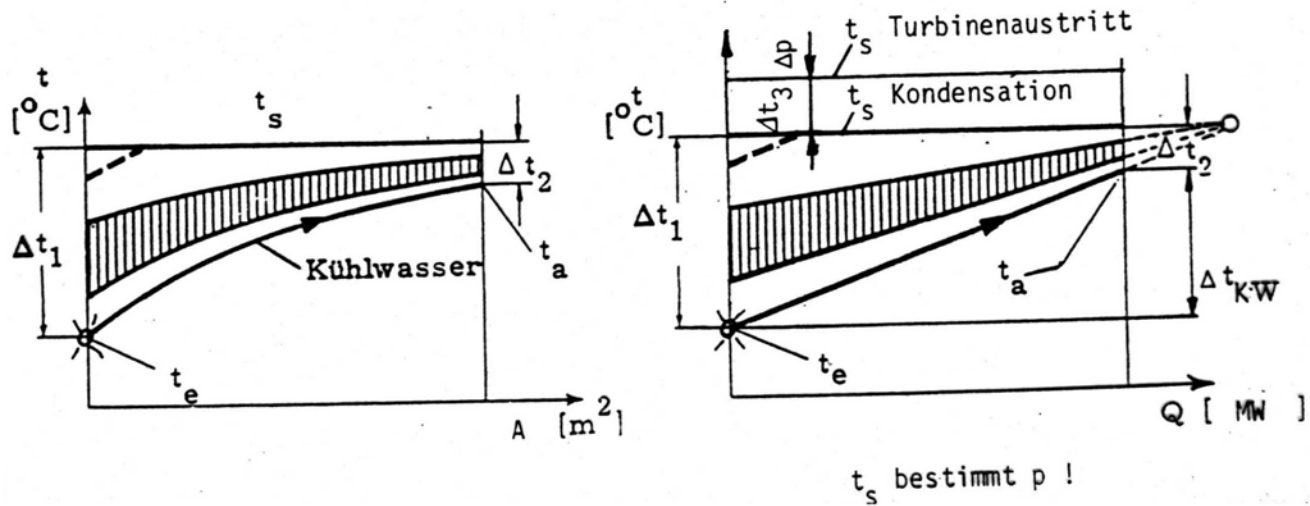
(c) Trockenkühlung mit direkter Kondensation



(d) Indirekte Trockenkühlung mit Einspritzkondensator und Naturzugkühlturm

(ii) Oberflächenkondensator

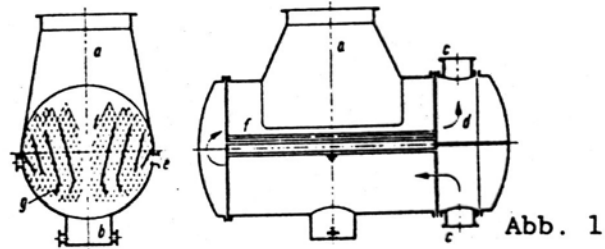
Temperaturen: Darstellung im A-t-Diagramm, besser im Q-t-Diagramm:



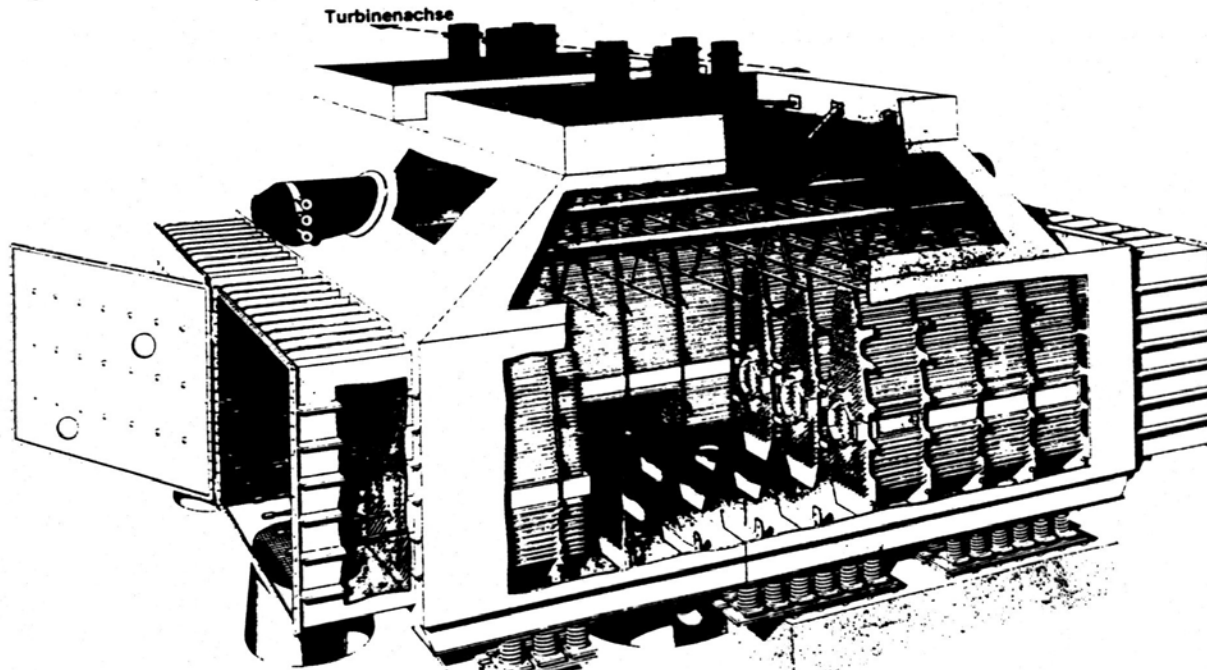
Oberflächenkondensator

Grundsätzlicher Aufbau des Oberflächenkondensators (Abb. 1)

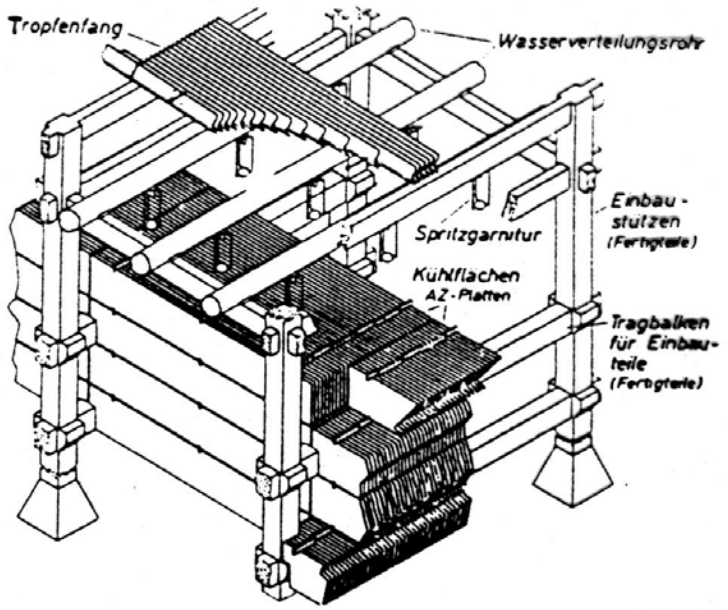
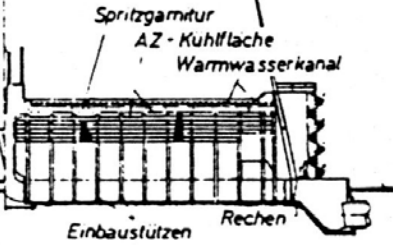
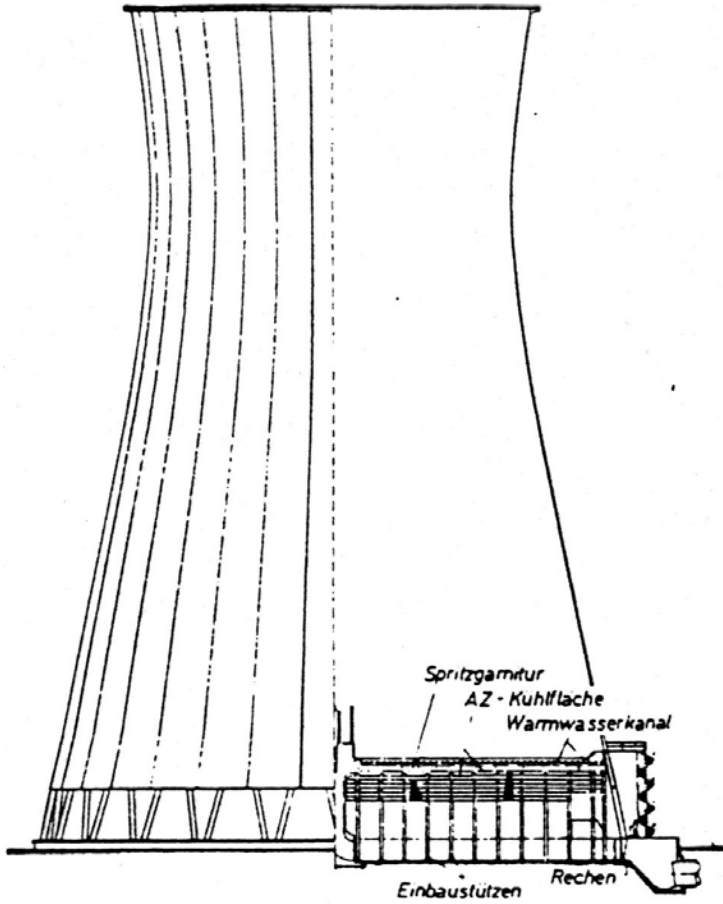
- a Dampfeintritt
- b Kondensataustritt
- c Kühlwasserein- und -austritt
- d Wasserkammer mit Deckel und Trennwand
- e Luftaustritt
- f Kühlrohre
- g Kondensatleitbleche (manchmal)



Bei großen (Hochleistungs-) Kondensatoren und niedrigem Dampfdruck (Abb. 2) keine Leitbleche, sondern keilförmige Gassen für den Dampf, um Δp und damit Δt_3 klein zu halten! Gehäuse nicht zylinder-, sondern quaderförmig mit äußeren Versteifungen (wegen Unterdruck).



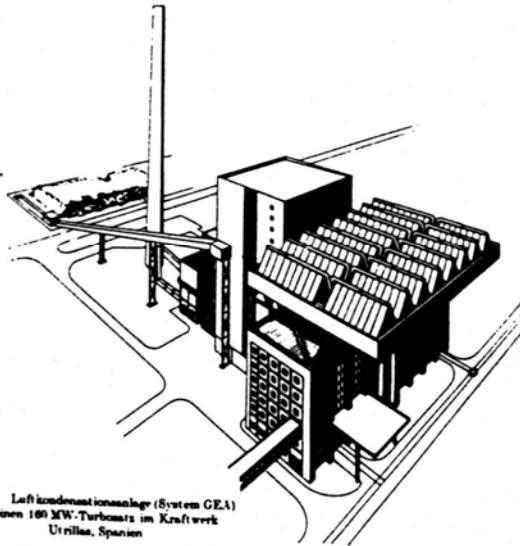
Nass-Kühlturm (Naturzug)



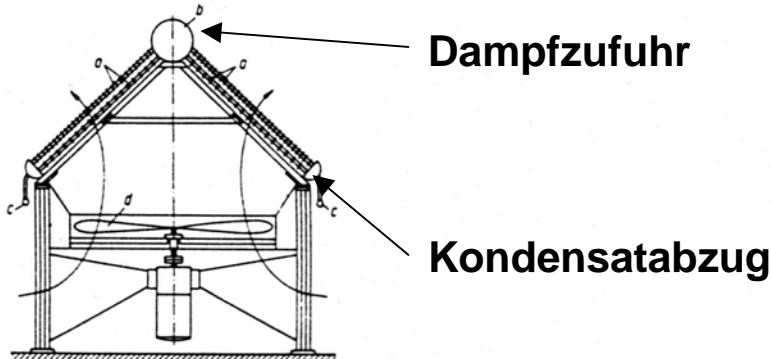
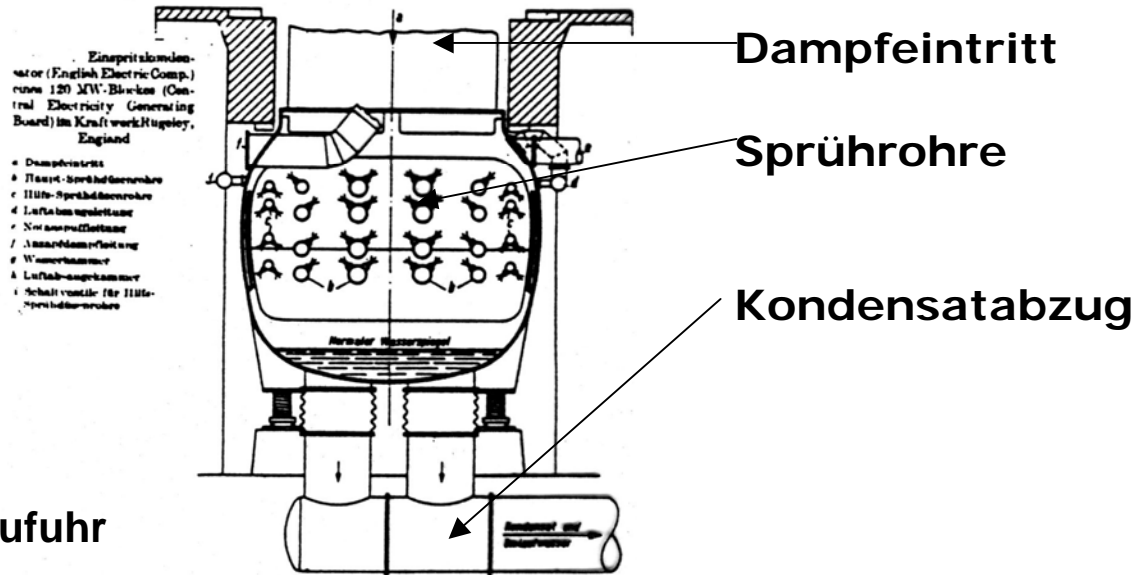
AZ...Asbestzement (oder Holz oder Kunststoff)

Direkte Kondensation und Mischkondensator

(iv) Direkte Kondensation (im Rohr; direkte Luftkühlung)



(v) Mischkondensator (Einspritzkondensator) beim Trockenkühlturm



Luftgekühlter Kondensator in A-Anordnung. a Rippenrohre mit unterschiedlichem Rippenabstand, b Dampfzuführung, c Kondensatabzug, d Ventilator

Kühlkamin

