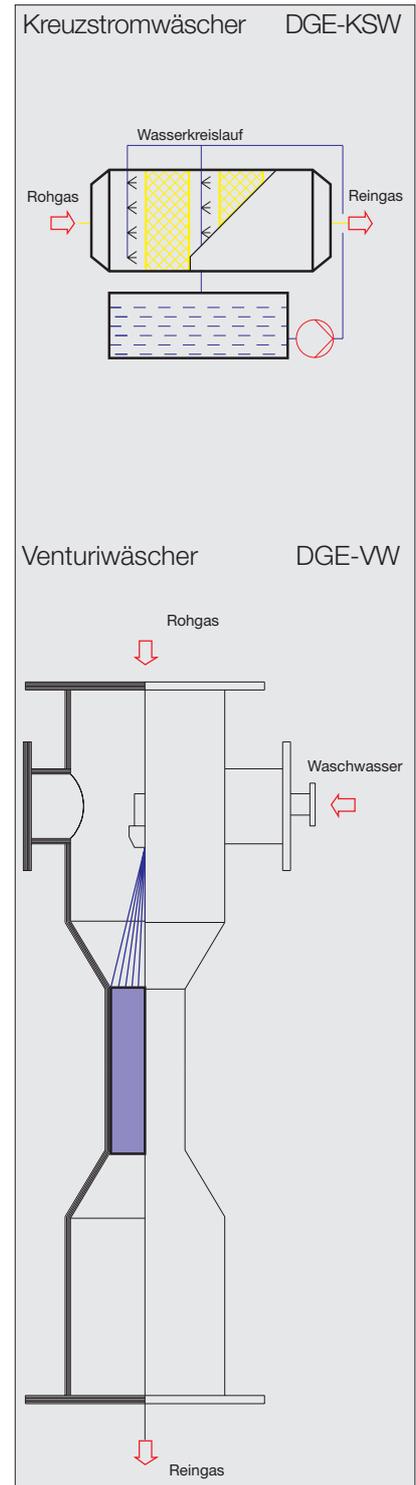
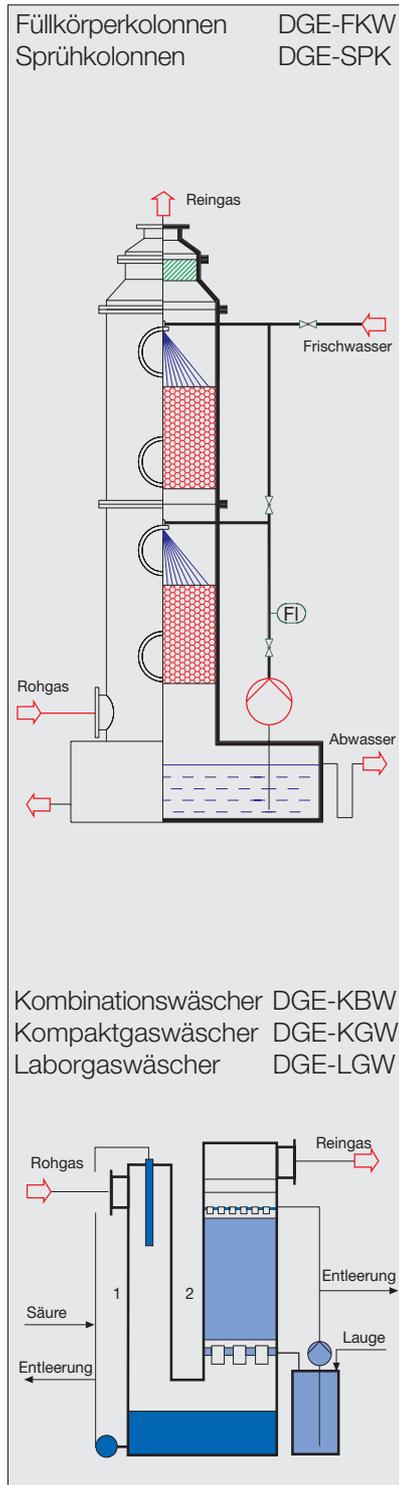
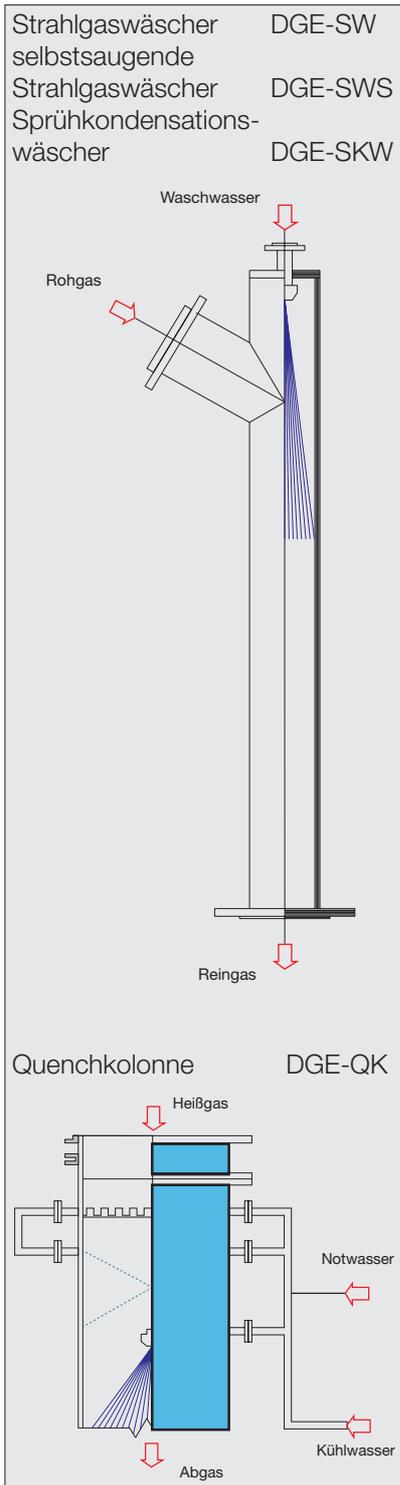
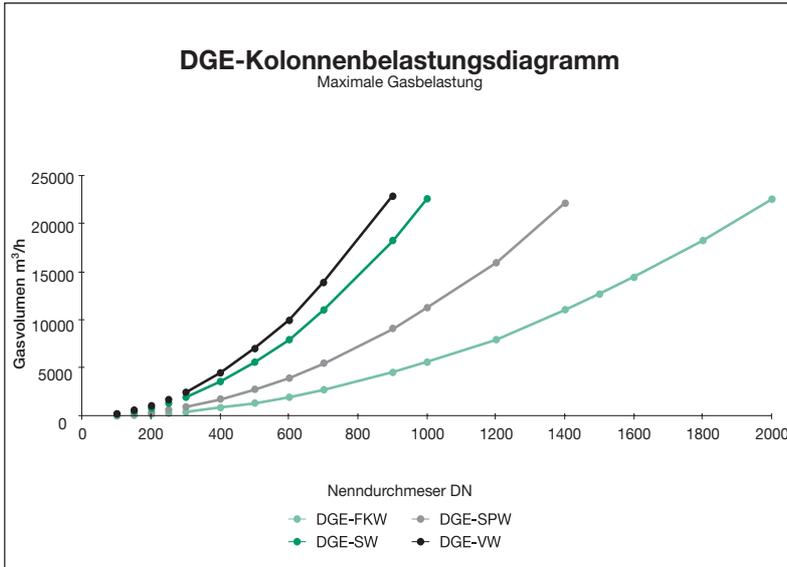


DGE-Kolonnen für den Umweltschutz Zur Abluft- und Abwasserreinigung





Jeder Kolonnentyp ist aufgrund seiner Apparategeometrie und Funktionsweise für einen begrenzten Leistungsbereich einsetzbar. Eine überschlägige Abschätzung des Kolonnen-Durchmessers eines Kolonnentyps kann für gegebene Abluftmengen mit oben stehender Abbildung vorgenommen werden. Bei den angegebenen Maximalwerten lassen sich gasseitige Belastungsverhältnisse von 1:10 problemlos realisieren. Für die exakte Festlegung des hydraulischen Arbeitsbereiches sind neben der gasseitigen auch die flüssigkeitsseitigen Belastungsverhältnisse und die kolonnenspezifischen Parameter zu berücksichtigen.

Das **DGE-Kolonnenprogramm** besteht aus verschiedenen Kolonnentypen. Je nach Einsatzfall werden Einzelaggregate der Kombinationen verschiedener Kolonnentypen ausgeführt. Für die Einsatzgebiete in der Abgasreinigung und Abwasserreinigung werden Standardanlagen und spezielle Systemlösungen angeboten. Für komplizierte Problemstellungen stehen DGE-Versuchsanlagen zur Pilotierung zur Verfügung.

Die wichtigsten klassischen Einsatzgebiete für **DGE-Kolonnen** sind:

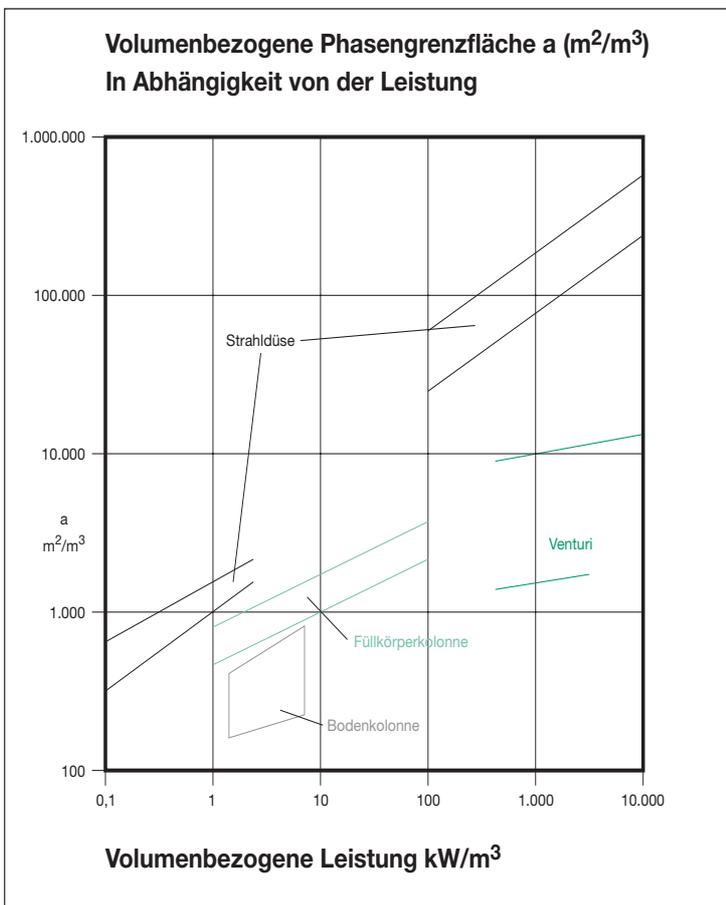
Abgasreinigung

- Entfernen von organischen und anorganischen Substanzen durch Absorption und Chemosorption
- Biologische Abluftreinigung
- Abscheidung von Stäuben
- Kühlen und Sättigen von Gasen
- Kombination mit anderen Reinigungsverfahren

Wasserreinigung

- Strippen von flüchtigen Komponenten
- Entsäuerung von Trinkwasser

Das **DGE-Kolonnenprogramm** umfasst ein komplettes Lieferprogramm inklusive aller Dienstleistungen, wie Behörden-engineering, für turn key Anlagen. Montage und Service werden von eigenem Personal durchgeführt.



DGE-Kolonnen

bestehen aus Kunststoff oder Stahl. Ausführungen in Kunststoff sind gegen aggressive Medien beständig. Als Bauform wird die stehende zylindrische Ausführung bevorzugt, wobei für spezielle Einsatzfälle auch liegende und eckige Sonderbauarten realisiert werden. Die für unterschiedliche Kolonnentypen erreichbare volumenbezogene Phasengrenzfläche für den Stoffaustausch kann nebenstehender Abbildung entnommen werden.

Kolonnenhydraulik

Für die exakte Festlegung des hydraulischen Arbeitsbereiches sind neben der gasseitigen auch die flüssigkeitsseitigen Belastungsverhältnisse und die kolonnenspezifischen Parameter zu berücksichtigen. Ein sicherer Betrieb der Kolonne ist nur innerhalb des ermittelten Arbeitsbereiches möglich. Am oberen Arbeitsbereich, an der Flutgrenze bestehen die besten Stoffübergangsbedingungen.

Der optimale Arbeitspunkt wird aus Sicherheits- und Flexibilitätsgründen oft 30% unterhalb der Flutgrenze festgelegt. Der untere Arbeitspunkt wird durch eine minimal erforderliche Gas- und Flüssigkeitsbelastung gekennzeichnet. Diese Grundsätze gelten für alle Kolonnentypen.

Für die **Absorption** und **Desorption** kann die zu übertragende Stoffmenge dN durch Diffusion an der Phasengrenzfläche bei Einführung einer volumenbezogenen Phasengrenzfläche a für einen differentiellen Abschnitt aus der Grundgleichung berechnet werden:

$$dN = k_L \cdot a \cdot \Delta x \cdot dV = k_G \cdot a \cdot \Delta y \cdot dV$$

Der totale Stoffübergangskoeffizient k_{OG} resultiert aus einem partiellen Stoffübergangskoeffizienten für Gas k_G und Flüssigkeit k_L zu:

$$1/k_{OG} = 1/k_G + m/k_L,$$

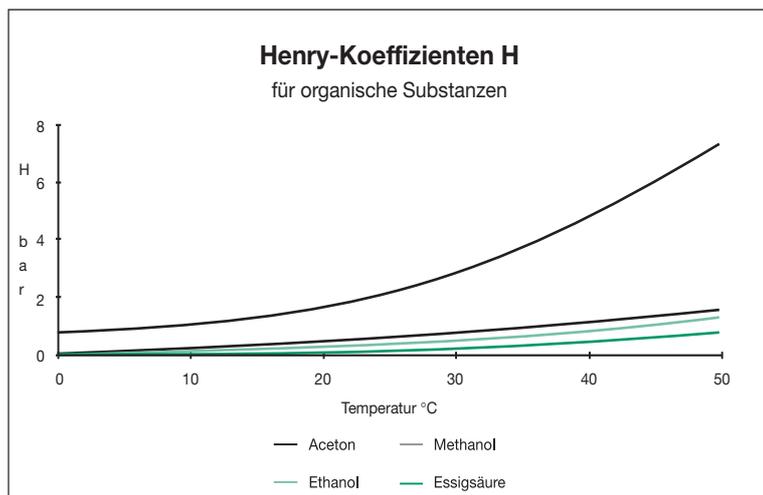
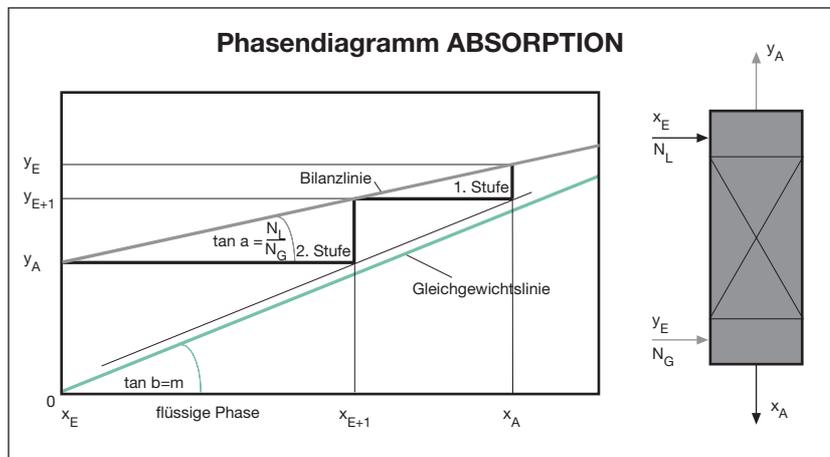
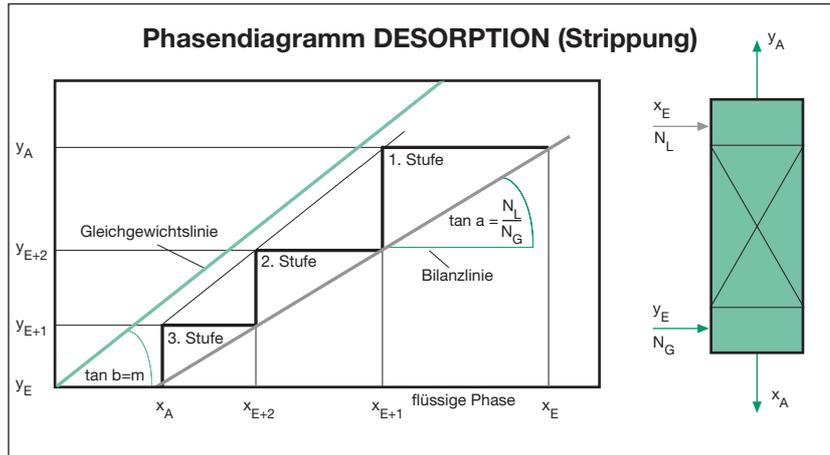
wobei m der Anstieg der Gleichgewichtskurve ist. Durch Integration dieser Gleichungen kann die Höhe eines Stoffaustauschapparates Z wie folgt berechnet werden:

$$Z = \frac{dy/(y-y^*) \cdot G/A}{1/k_G + m/k_L} = \frac{NTU}{HTU} \cdot \text{Anzahl der Stufen} \cdot \text{Höhe einer Stufe}$$

Aus den angegebenen Berechnungsgleichungen kann nun leicht abgeschätzt werden, ob der Widerstand für die Stoffübertragung in der flüssigen oder gasförmigen Phase liegt und welchen Einfluss das Phasengleichgewicht besitzt. Das Phasengleichgewicht von wasserlöslichen Stoffen kann komponentenbezogen über die Henry-Koeffizienten zu:

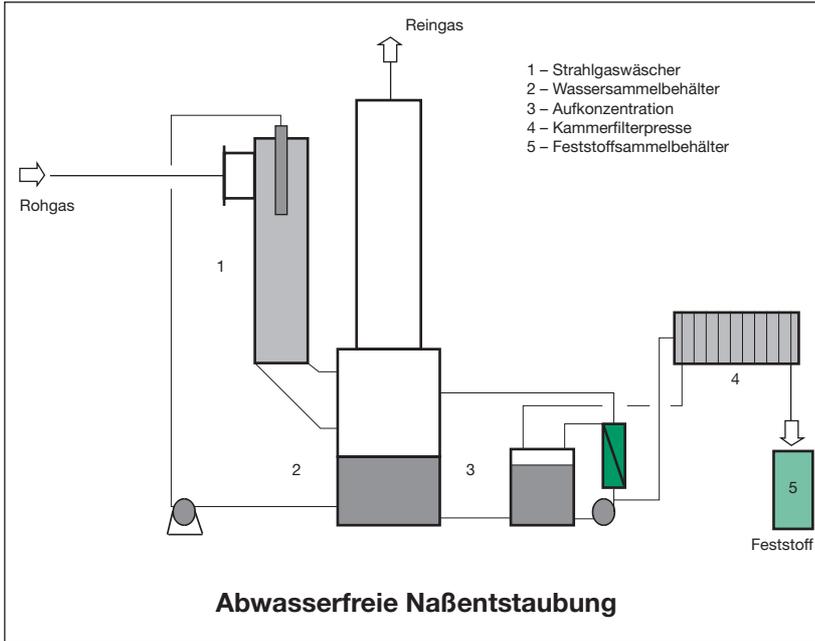
$$y_i = x_i \cdot \gamma_i \cdot H_i$$

ermittelt werden. Die Henry-Koeffizienten lassen sich aus empirischen Ansätzen temperaturabhängig berechnen. Der bestehende physikalische Zusammenhang der Stoffübertragung für die Absorption und Desorption kann den nebenstehenden Abbildungen entnommen werden. Für eine bestehende Trennaufgabe können so durch Anpassung der Arbeitslinie (L/G -Verhältnis) und der Prozeßtemperatur die optimalen Auslegungsbedingungen gefunden werden. Bei der von DGE vorgenommenen Auslegung werden die konzentrationsabhängigen Aktivitätskoeffizienten und Anpassungsparameter zur Berücksichtigung von Wechselwirkungen bei Mehrkomponentensystemen berücksichtigt. Die angegebene Berechnungsmethode kann bei Kenntnis der Belastungsverhältnisse auf alle Kolonentypen angewendet werden.



Sonderfälle der **Absorption** und **Desorption** bestehen, wenn diese von chemischen Reaktionen der Komponenten in der flüssigen Phase (**Chemosorption**) begleitet sind und bei unterschiedlichem pH-Wert durchgeführt werden. Eine Berechnung dieser Prozesse ist immer sehr kompliziert. Bei Prozessen mit hoher Reaktionsgeschwindigkeit und irreversibler Reaktion, wie z.B.:

Säurewäsche für NH_3 , Amine Laugewäsche für HCl , SO_2 , HF
sind allgemein geringe Apparatehöhen erforderlich. Bei Prozessen mit reversiblen Reaktionen müssen aufgrund der konzentrations- und reaktionsabhängigen Prozessführung die Stoffübergangskoeffizienten durch einen Beschleunigungs- oder Verzögerungsfaktor Φ , der die Reaktionsgeschwindigkeit berücksichtigt, erweitert werden. Die Wechselwirkungsparameter der dafür erstellten DGE-Berechnungsprogramme basieren auf den Meßwerten ausgeführter Anlagen.



Zur Naßabscheidung von Stäuben aus Abluft lassen sich praktisch alle Kolonnentypen einsetzen. Ausschlaggebend für die Auswahl des geeigneten Kolonnentypes sind die erforderliche Trennleistung, die Korngrößenverteilung und das spezifische Gewicht der abzutrennenden Partikel. Naßabscheider besitzen ein sehr weites industrielles Anwendungsgebiet, da sie an unterschiedliche Bedingungen anpassungsfähig sind. Das gekoppelte Problem der Wasserreinigung darf dabei jedoch nicht übersehen werden.

DGE-Naßabscheider

arbeiten mit einem kundenspezifisch entwickelten Abwasserreinigungssystem und sind somit praktisch abwasserfrei. Besonders hohe Abscheideleistungen werden erreicht, wenn die abzutrennenden Stoffe wasserlöslich sind.

Grobabscheider

Eine Vorabscheidung staubbelasteter Abluft von Teilchen über 10 µm kann mit konventionellen Füllkörper- und Sprühkolonnen erreicht werden.

Die Fahrweise dieser Kolonnen erfolgt im Flüssigkeitskreislauf, mit Auskreisung des mit Feststoffen beladenen Waschwassers. Mittels Sedimentation kann eine Feststoffabscheidung aus dem Waschwasser vorgenommen werden. Durch Nachschalten oder Kombination mit einer Mikrofiltration und Kammerfilterpresse kann ein abwasserfreier Betrieb realisiert werden. Zur Vermeidung von Verstopfungen arbeiten DGE-Füllkörperkolonnen mit speziell dafür entwickelten Füllkörpern. Diese Entwicklung kann vor allem bei kombinierten Abluftreinigungsverfahren, wie Absorption mit nachgeschalteter Adsorption vorteilhaft angewendet werden. Hier werden neben der Staubabscheidung auch gute Absorptionseffekte für wasserlösliche Komponenten und Chemosorption erreicht.

Hochleistungsabscheider

Hochleistungsabscheider arbeiten mit hohen Differenzgeschwindigkeiten des Gasstromes. Typische Bauformen sind Sprühgaswäscher und Venturiwäscher. Während beim Sprühgaswäscher Strömungsgeschwindigkeiten der Abluft von 10 bis 20 m/s realisiert werden, beträgt diese beim Venturiwäscher sogar 50 bis 150 m/s. Daraus resultieren auch die hohen Abscheideleistungen bis zu Teilchengrößen von unter 0,05 µm für Venturiwäscher. Nachteilig wirkt sich jedoch aus, daß je höher die Relativgeschwindigkeit im Abscheider ist, umso empfindlicher ist dieser gegenüber Durchsatzschwankungen. Die Kombination verschiedener Abscheidertypen mit Grobabscheider und nachgeschaltetem Hochleistungsabscheider kann oft vorteilhaft sein.

Die Trennleistung eines Naßabscheiders kann für jeden Apparat über die Trennfunktion $T(d)$ beschrieben werden:

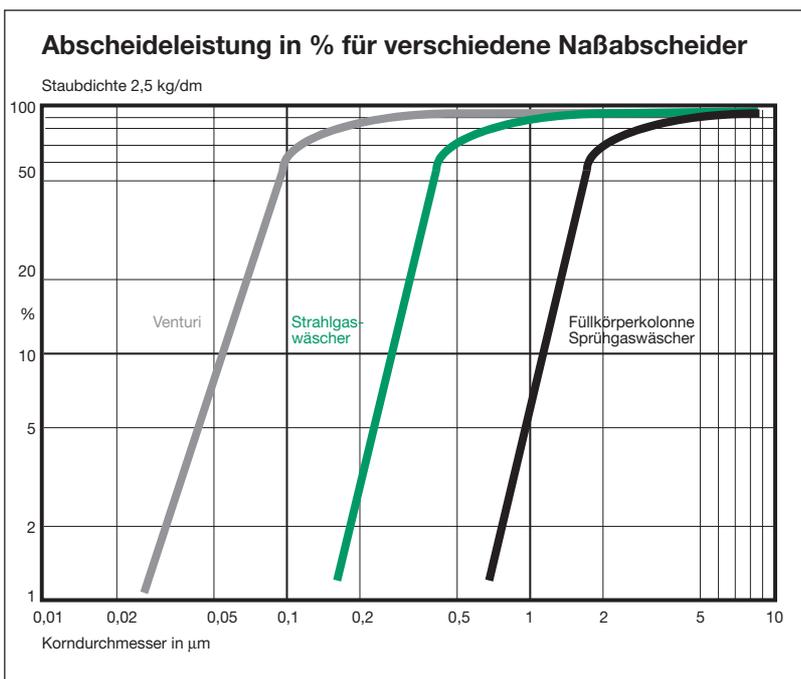
$$T(d) = 1 - \exp[-f \varphi(d)] \quad f = V_L / VG$$

Eine Zusammenstellung der verschiedenen Abscheidertypen bezüglich Trennleistung und Energieaufwand kann der unten stehenden Tabelle entnommen werden.

Sind die abzutrennenden Stäube wasserlöslich, so kann die Abscheideleistung durch das Lösungsverhalten mit

$$dm_{Fe} / dt = -\beta A_0(c_s - c)$$

noch deutlich verbessert werden. Salze haben z.B. eine sehr gute Löslichkeit in Wasser. Die Durchführung von Versuchen ist bei komplexen Abscheideproblemen daher immer sinnvoll.



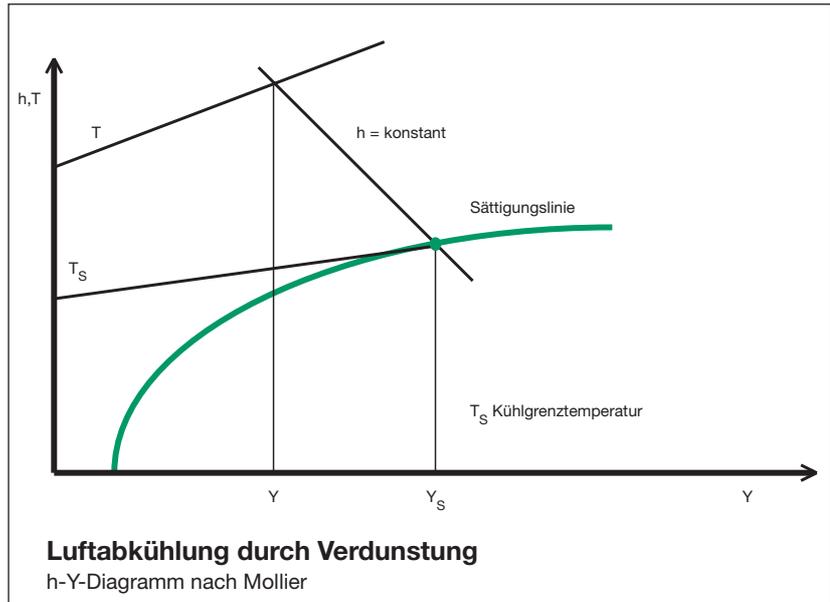
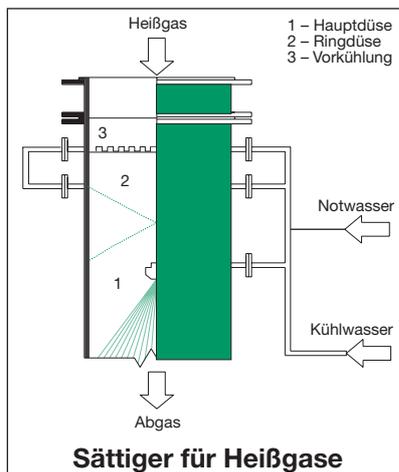
Viele Abluftreinigungsverfahren erfordern vor ihrem Einsatz eine Vorbehandlung der zur reinigenden Abluft. Die Praxis hat gezeigt, daß bei nassen Verfahren für viele Schadstoffe bessere Trennleistungen als bei trockenen Reinigungsverfahren erreicht werden können.

Befeuchten

Bei allen biologischen Abluftreinigungsverfahren werden die höchsten Reinigungseffekte erreicht, wenn die zu reinigende Abluft vor Eintritt in die biologische Reinigungsstufe mit Wasserdampf gesättigt ist. Für diese Einsatzfälle eignen sich besonders Füllkörper- und Sprühkolonnen. Der notwendige Wasserbedarf für die Luftbefeuchtung kann in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, dem h-Y-Diagramm oder nebenstehender Tabelle entnommen werden. Allgemein wird hier die Abluft bei Umgebungstemperatur von einer relativen Feuchte von 60 % auf 100 % gesättigt. Die Luftbefeuchter sind relativ einfach aufgebaut und wartungsarm.

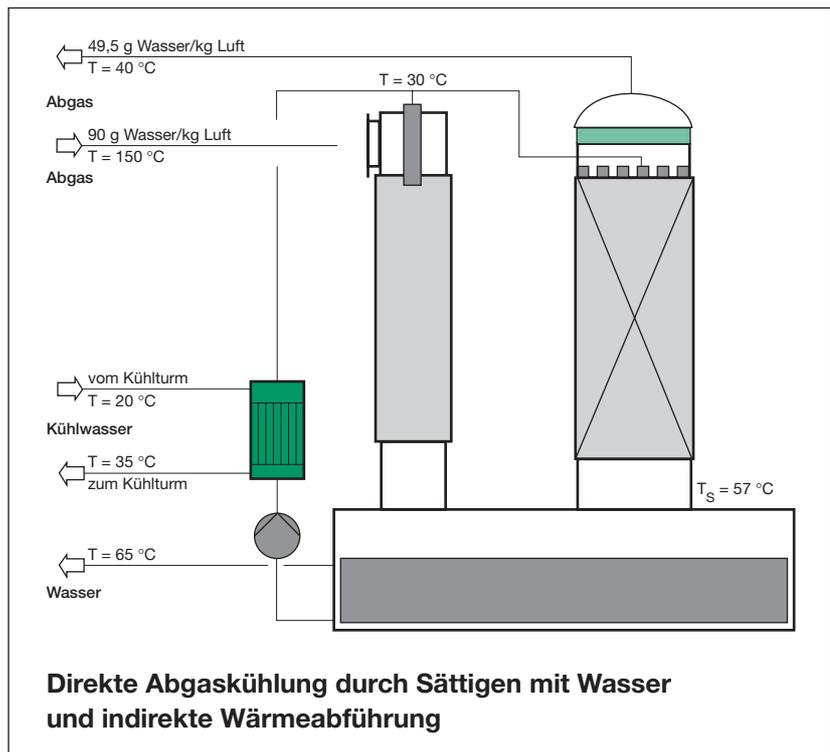
Kühlen, Sättigen

Abluftströme aus Verbrennungsprozessen haben je nach Prozeßführung eine Temperatur von 150 bis 650 °C. Für eine Naßchemische Reinigung von korrosiven Bestandteilen wie HCl, SO₂, HF, HBr usw. ist die Abkühlung auf die sich einstellende Kühlgrenztemperatur von 60 bis 70 °C erforderlich. Der Kühlprozeß der Abluft (Quenche) wird durch Sättigung mit Wasser erreicht. Die Quenche besteht aus einem mehrstufigen Düsensystem mit Sicherheitsüberwachung und Speisesystem. Die Abgaskühlung kann mit einer indirekten Wärmeabführung gekoppelt werden. Damit werden die Betriebskosten drastisch reduziert. Quenchapparate werden hauptsächlich am Eintritt eines Venturiwäschers oder Strahlgaswäschers angeordnet. Je nach Einsatzbedingungen erfolgt die Ausführung in Stahl, gummiert, oder Kunststoff.



Der Zustand T, Y charakterisiert den Ausgangszustand des Gases. Die Verlängerung der Isenthalpen oder der Nebelisothermen zur Sättigung liefert die Kühlgrenztemperatur.

Lufttemperatur °C	rel. Feuchte 60 % g Wasser/kg Luft	rel. Feuchte 100 % g Wasser/kg Luft	Wasserbedarf g Wasser/kg Luft
10	4,64	7,73	3,09
20	8,93	14,98	6,05
30	16,54	27,56	11,02
40	29,72	49,54	19,82



Bruttogleichung für den biologischen Abbau

Schadstoff (S) + O₂ $\xrightarrow{\text{Bakterien}}$ Zwischenprodukte $\xrightarrow{\text{Bakterien}}$ Zellsubstanz + H₂O + CO₂ + Energie

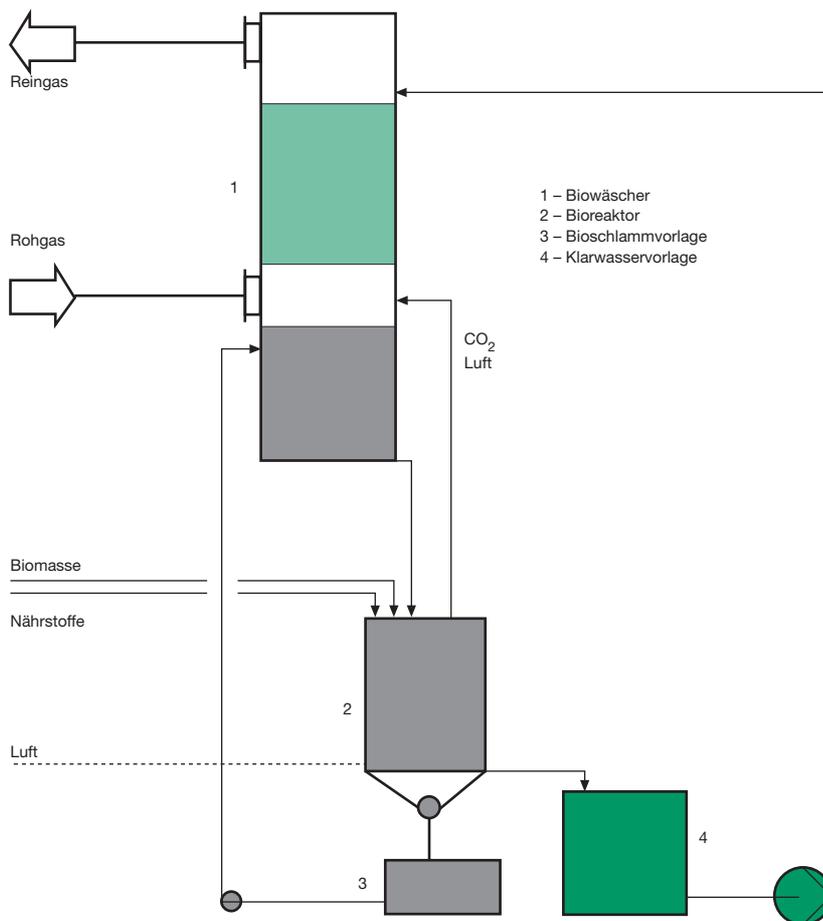
Reingasberechnung

$$C_{S, \text{Reingas}} = C_{S, \text{Rohgas}} \exp \left[- \frac{K_{\text{Bio}} H}{W} \right]$$

H – Filterschichthöhe

w – mittlere Gasgeschwindigkeit durch die Filterschicht

K_{Bio} – Geschwindigkeitskonstante (0,02-0,2 s⁻¹)



Biologische Verfahren

zur Reinigung von Abluft erlangen gerade unter dem Gesichtspunkt der Ökoeffizienz von Abluftreinigungsverfahren eine immer größere Bedeutung. Viele organische Substanzen lassen sich gut biologisch abbauen. Die Anwendung biologischer Abluftreinigungsverfahren ist daher in Industriezweigen, wie der Lack-, Farben- und Kosmetikindustrie, in Druckereibetrieben und bei der Beseitigung von Gerüchen oft die wirtschaftlich und ökologisch sinnvollste Lösung. Bevor eine biologische Oxidation nach nebenstehendem Regime erfolgen kann, muß der Schadstoff an die benetzte, wäßrige Phase absorbiert werden. Biologische Verfahren zur Abluftreinigung können über direkte oder indirekte Verfahren realisiert werden.

indirekte Verfahren Biowäscher direkte Verfahren Biofilter

Bei den direkten Verfahren erfolgen Absorption und biologische Oxidation in einem Apparat.

Die biologische Abluftreinigung nach den **Bio-Verfahren** von DGE erfolgt mit **Biowäschern** nach dem indirekten Verfahren. Hier erfolgt die Absorption der Schadstoffe in der Waschflüssigkeit in einem Füllkörperwäscher. Die Regeneration der Waschflüssigkeit wird in einem separaten Bioreaktor vorgenommen.

DGE-Biowäscher

erfordern gegenüber den Biofiltern einen deutlich geringeren Platzbedarf. Die für die biologische Oxidation erforderliche Reaktionszeit kann nebenstehender Tabelle entnommen werden.

DGE-Biowäscher

lassen sich auch mit vorhandenen Klärwerken kombinieren und dadurch sehr hohe Einsparungen an Betriebskosten erreichen. Dies ist die einfachste und wirtschaftlichste Methode für die Schadstoffbeseitigung und -entsorgung, da kein zusätzlicher Bioreaktor installiert werden muß. Die Waschflüssigkeit wird mit Belebtschlamm suspension aus dem Klärwerk adaptiert. Im Biowäscher erfolgt dabei ein überlagerter Prozeß der Absorption und biologischer Oxidation. Diese Verfahrensweise ist besonders bei der Beseitigung von Geruchsbelästigungen, wie z.B. die Entfernung von H₂S vorteilhaft.

DGE-Biowäscher-Verfahren

Berechnung des erforderlichen Filtervolumens V_F (m³)

$$V_F = G t$$

G – Abluftvolumenstrom m³/s

t – Kontaktzeit s

t = 10–80 s für Biofilter

t = 0,5–10 s für Biowäscher

DGE-Biowäscher lassen sich besonders vorteilhaft einsetzen, wenn die Schadstoffkonzentration relativ (die organische Rohgasbelastung unter 1 g/Nm³ liegt) gering und die Schadstoffzusammensetzung annähernd konstant ist. Abbauraten von bis zu 95 % sind mit den **DGE-Biowäschern** erreichbar. Bei höheren Rohgasbelastungen ist es oft vorteilhaft, wenn dem **DGE-Biowäscher** ein **AktivkohleadSORBER** als Puffer zur Glättung der Rohgasbelastung vorgeschaltet wird. Diese hat weiter den Vorteil, daß der Biowäscher auch bei diskontinuierlicher Rohgasbelastung kontinuierlich betrieben werden kann.

DGE-Kompaktgaswäscher

sind Kombinationen von verschiedenen Kolonnentypen als Baueinheit. DGE-Kompaktgaswäscher bestehen aus den Kombinationen:

Strahlgaswäscher – Füllkörperwäscher
Venturiwäscher – Füllkörperwäscher

Entsprechend der Aufgabenstellung kann dem Kompaktgaswäscher ein Aktivkohlefilter als Ringsorber vor- oder nachgeschaltet werden.

Nach den Haupteinsatzgebieten werden die DGE-Kompaktgaswäscher in zwei Kategorien eingeteilt.

Laborgaswäscher

Für die Abluftreinigung an Laborarbeitsplätzen sind allgemein kleine Abluftmengen von 100 bis 1000 Nm³/h zu behandeln. Die zu reinigende Abluft enthält saure, alkalische oder organische Substanzen und ggf. Stäube. Tritt nur eine Stoffgruppe auf, so ist die Reinigung einfach realisierbar.

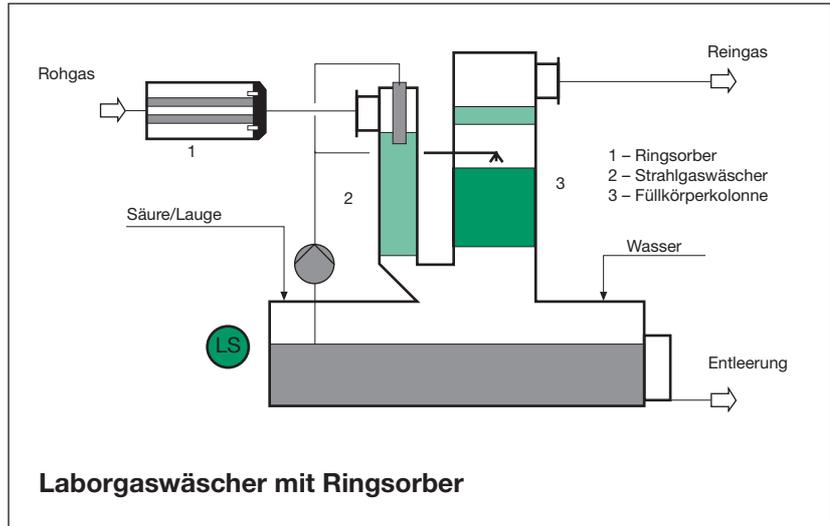
Die **DGE-Kompaktgaswäscher** für den Einsatz im Labor bestehen aus der Kolonnenkombination selbstsaugender Strahlgaswäscher und Füllkörperkolonne. Aufgrund der Ejektorwirkung des Strahlgaswäschers, ist zur Abluftabsaugung kein zusätzlicher Ventilator erforderlich. Die Kompaktgaswäscher lassen sich je nach Erfordernis alkalisch oder sauer betreiben. Zur Entfernung geringer Mengen an organischen Substanzen kann ein Aktivkohlefilter als Ringsorber dem Kompaktgaswäscher vorgeschaltet werden. Der Ringsorber kann auch als Aerosolabscheider eingesetzt werden.

Industrieanwendung

Industrielle Abgase aus der Galvanik, Chemie, Metallverarbeitung, Textilindustrie, Zellstoffindustrie, Chemiefaserindustrie und vor allem Rauchgase aus Verbrennungsprozessen lassen sich oft nicht mit einer Stufe auf die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte reinigen. Die Kombination von Säure- und Laugewäsche mit Staubabscheidung kann raumsparend und mit hoher Effektivität durch **DGE-Kompaktgaswäscher** realisiert werden.

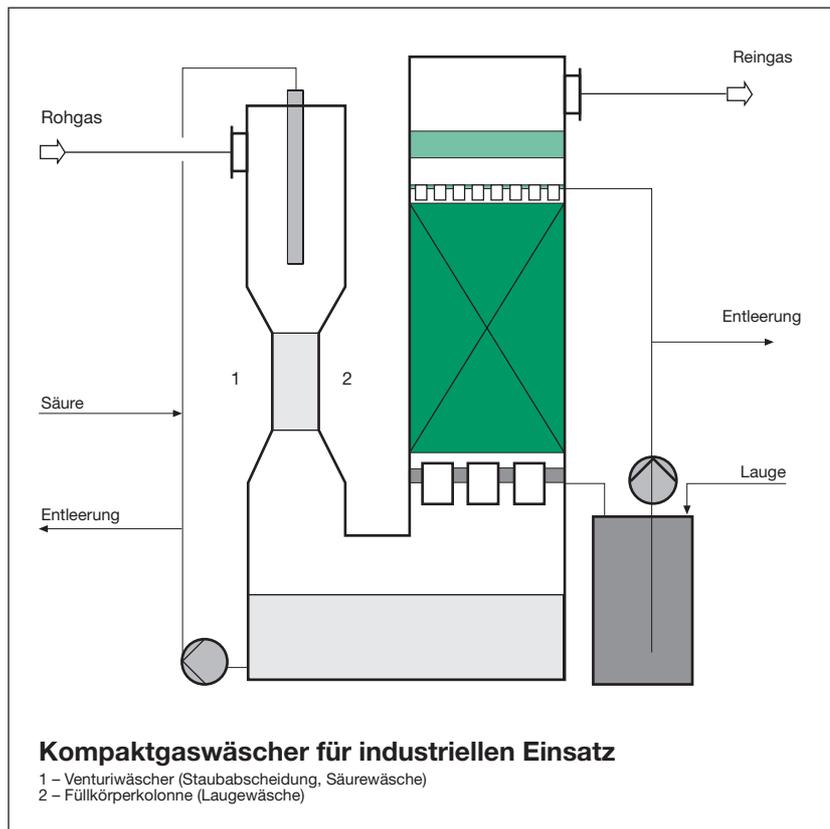
DGE-Kompaktgaswäscher

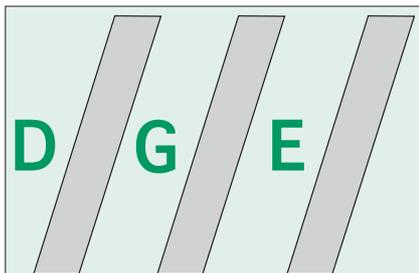
werden komplett mit Steuerung und allen erforderlichen sicherheitstechnischen Ausrüstungen geliefert. Die Einbindung der Steuerung in bestehende Prozeßbleitsysteme wird auf Wunsch realisiert. Die Anlagensteuerung ermöglicht einen Betrieb mit minimalem Verbrauch an Betriebsmitteln und reduziert damit entscheidend die Entsorgungskosten.



DGE-Kompaktgaswäscher sind korrosionsbeständig und werden aus Kunststoffen gefertigt. Sonderbauformen aus Edelstahl, gummiert, werden nach Kundenwunsch realisiert.

Zur Entsorgung des anfallenden Abwassers können **DGE-Neutra-Stationen** eingesetzt werden. **DGE-Neutra-Stationen** gibt es in verschiedenen Baugruppen. Die Baugruppen sind dem Abwasseranfall der Kompaktgaswäscher angepaßt.





DGE GmbH
Dessauer Str.6
06886 Lutherstadt Wittenberg
Tel.: (0 34 921) 60 41 56
dge-info@t-online.de

DGE GmbH
Tattenkofener Straße 25
82538 Geretsried
Tel.: (0 81 71) 9 00 51
Fax: (0 81 71) 9 00 52