

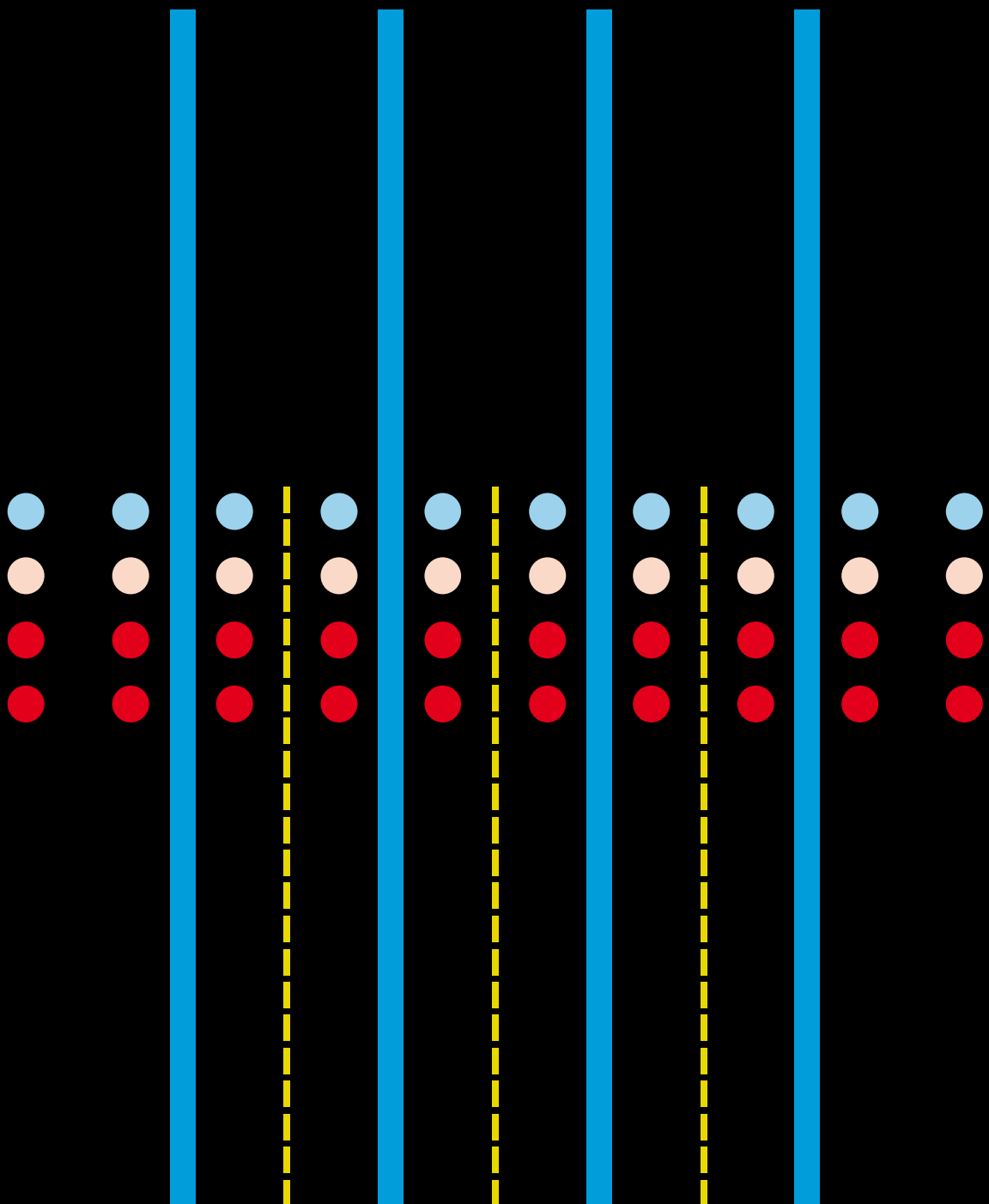


SILICA

Silica
Verfahrenstechnik
GmbH

Trocknung
durch Adsorption

Drying
by Adsorption





Erdgasaufbereitung, Reduzierung des Wasser-
und Kohlenwasserstoff-Taupunktes
Durchsatz: 260.000 Nm³/h, Betriebsdruck: 45...90 bar
Natural gas treatment, water- and hydrocarbon dew pointing
Flow rate: 260,000 Nm³/h, Operation pressure: 45...90 bar

Trocknung durch Adsorption

Der Begriff Adsorption bezeichnet die Anlagerung von Molekülen aus einer Gas- oder Flüssigkeitsphase an der Oberfläche eines festen Stoffes; sie führt zu einer Konzentrationserhöhung und -verdichtung an der Phasengrenzfläche. Adsorption findet an jeder Oberfläche statt.

Im technischen Sinne fasst man unter Adsorption zwei physikalische Eigenschaften zusammen, die eigentliche Adsorption und die Kapillarkondensation. Der Adsorptionsprozess ist immer ein Gleichgewichtsprozess zwischen der Konzentration der zu adsorbierenden Komponente im Gas und dem Gehalt dieser Komponente im Adsorptionsmittel. Bei der Adsorption wird Energie frei, die während der Regeneration wieder zugeführt werden muss.

Für die Trocknung von Gasen und Flüssigkeiten eignen sich als Adsorptionsmittel besonders die amorphen Formen des anorganischen Siliciumdioxids (Silica Gel bzw. Kieselgel) und Aluminiumoxid Gel bzw. Alugel, auch aktivierte Tonerde genannt. Diese Produkte gibt es als Granulate und Kugeln; letztere werden vorzugsweise für die dynamische Trocknung eingesetzt.

Während bei diesen Adsorptionsmitteln Poren der verschiedensten Größe vorhanden sind, findet man bei den künstlichen Zeolithen, die unter dem Namen Molekularsieve bekannt geworden sind, genau definierte Löcher in ihren Kristallgittern. Bei diesen Aluminiumsilikaten können die Lochgrößen zwischen 0,3... 1 nm (3 Å, ... 10 Å) beim Herstellungsprozess vorgegeben werden. Dadurch ist es möglich, nicht nur sehr niedrige Wassergehalte zu erzielen, sondern auch selektiv zu adsorbieren. So können z. B. kleine Moleküle adsorbiert werden, während größere nicht in die Löcher passen. Für die Selektivität ist jedoch nicht nur die Molekülgröße, sondern auch die Polarität des zu adsorbierenden Stoffes entscheidend, je polarer, desto besser die Adsorption. So verdrängt z. B. Wasser alle vorher adsorbierten Stoffe. Bedingt durch die verschiedenartigen Porenstrukturen ist die Aufnahmekapazität der Adsorptionsmittel unterschiedlich. Auch die erreichbare Restfeuchte im Gas bzw. in der Flüssigkeit hängt davon ab. Die innere Oberfläche der Adsorptionsmittel ist sehr groß. Sie liegt zwischen 360 m²/g bei Alugel und 1100 m²/g bei Molekularsieben.

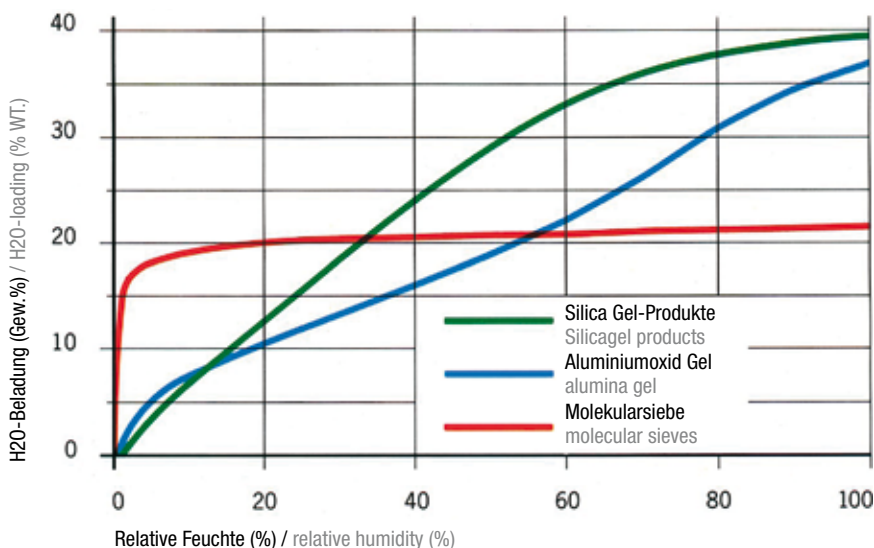
Drying by Adsorption

The term „adsorption“ refers to the agglomeration of molecules from a gas- or liquid phase to the surface of a solid substance. This process leads to an increase of concentration and condensation at the phase interface. Adsorption takes place on every surface area.

In a technical sense, adsorption comprises two physical characteristics, namely the actual adsorption and the capillar condensation. The process of adsorption is always an equilibrium process between the concentration in the gas of the component to be adsorbed and the concentration of this component in the adsorption agent. Adsorption causes the release of energy which is to be returned during the regeneration process.

Substances that are particularly well suited as adsorption agents for drying gases and liquids are the amorphous forms of inorganic Silicagel and aluminium oxide gel which is also called activated alumina. These products are available as granulates or beads, with the latter form being more suitable for dynamic drying.

Whereas the pores in these adsorption agents are of various sizes, the holes in the crystalline structures of artificial zeolites, which have become known as molecular sieves, are of very well defined sizes. Hole sizes between 0.3 and 1 nm (3 Å to 10 Å) can be specified during the manufacture of these alumina silicates. This flexibility in choosing the pore size makes it possible to achieve not only very low concentrations of residual moisture, but also to obtain selective adsorption. For example, smaller molecules can be adsorbed while larger ones are excluded because they do not fit through the pores. This selectivity is however not solely a function of the physical dimensions of the molecules, but depends also upon the polarity of the substance to be adsorbed. The greater the polarity of the substance, the better the adsorption. Therefore, for example, water will displace all previously adsorbed substances. The adsorption capacity of adsorbents differs with different types of pore structures. In addition, the concentration of the residual moisture that can be attained in a gas or liquid also depends upon these pore structures. The internal surface areas of adsorption agents are very large. These vary from 360 m²/g for activated alumina to 1100 m²/g for molecular sieves.



Wasseraufnahme verschiedener Adsorptionsmittel
Water adsorption of different drying agents

Auslegung von Adsorptionsanlagen

Grundlage für die Auslegung von Adsorptionsanlagen sind Adsorptionsisothermen, die unter statischen Verhältnissen aufgenommen werden. Aus ihnen kann man nur die grundsätzliche Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck erkennen. Die Trocknung eines Gas- oder Flüssigkeitsstromes ist ein dynamischer Prozess, bei dem viele Parameter zu berücksichtigen sind, z. B. Kontaktzeit, Geometrie des Adsorbers, Dichte, Viskosität, Adsorptionswärme, geometrische Form des Adsorptionsmittels.

Zur optimalen Auslegung einer Adsorptionsanlage sollte man immer das Gesamtkonzept kennen, um Investitions- und Betriebskosten abwägen zu können. So kann z. B. besonders bei niedrigen Drücken (niedrige spezifische Wärme des Gases) der Einsatz einer guten Vorkühlung (Kaltwassersatz) erhebliche Vorteile bringen. Bei kleinen Anlagen kann auch die Erhöhung des Druckes mit anschließender Kühlung zur wesentlichen Kosteneinsparung führen. Nach wie vor dominieren bei der Trocknung Festbettadsorber, die je nach Anlagengröße stehend oder liegend angeordnet werden. Bei diskontinuierlichem Betrieb ist oft ein Adsorber ausreichend, der in Arbeitspausen regeneriert wird.

Bei kontinuierlichem Betrieb sind zwei Adsorber erforderlich, die wechselweise beladen bzw. regeneriert werden, wobei die Regeneration immer kürzer als die Beladung sein muss. Die meisten Anlagen arbeiten automatisch, nur wenige werden von Hand umgeschaltet. Die Umschaltzeit warmregenerierter Anlagen wird nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten bestimmt und liegt normalerweise zwischen 4 und 8 Stunden.

Große Gasmengen und hohe Betriebsdrücke können zum Einsatz von mehr als zwei Adsorbern führen. Das gilt auch bei Spezialverfahren, bei denen Adsorber hintereinander geschaltet werden, um besondere Effekte zu erreichen.

Design of Adsorption Plants

Adsorption isotherms measured under static conditions provide the foundation for the design of an adsorption plant even though they only indicate the basic suitability of the substance for a particular use. The drying of a stream of gas or liquid is a dynamic process in which many parameters have to be taken into account, e.g., contact time, geometry of the adsorber, density, viscosity, heat of adsorption and the geometrical form of the adsorption agent.

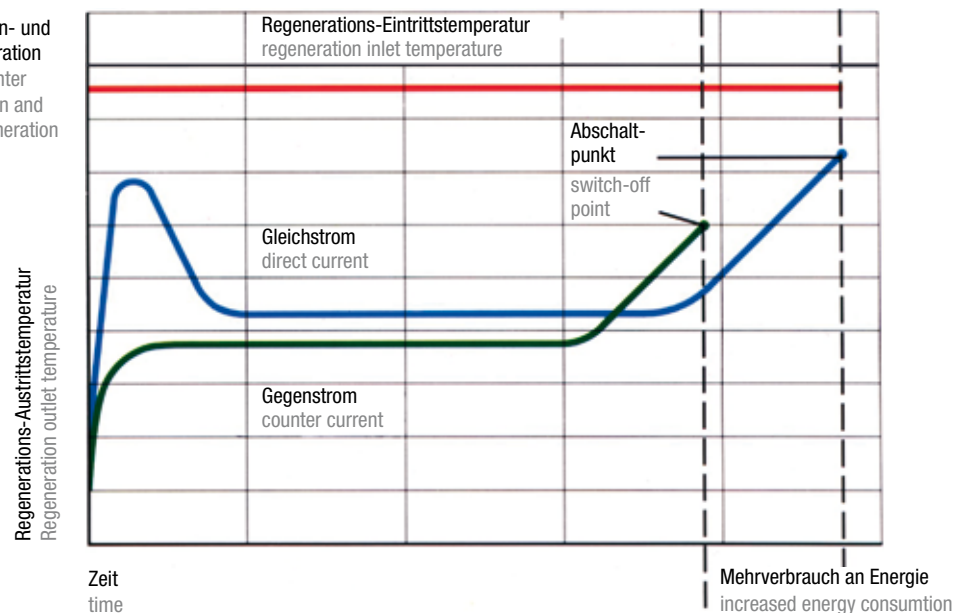
In order to achieve an optimal design for an adsorption plant, all factors pertaining to the operation should be taken into account. This procedure enables a good balance to be struck between investment and operating costs. For example, particularly when pressures are low (low specific heat of the gas), the use of an efficient pre-cooling by chilled water can have very beneficial effects. In smaller installations an increase in the pressure with subsequent cooling can also lead to significant savings in costs.

Drying technology is still dominated by the fixed-bed adsorber. Depending on the size of the installation, this adsorber is installed with its axis in either the vertical or horizontal position.

When the plant operates only periodically, it is often sufficient to install only one adsorber which can then be regenerated during off hours. When the plant operates continuously, however, two adsorbers are required. These units are then alternately loaded or regenerated, whereby regeneration always takes less time than loading. Most plants operate automatically and only a few of them have to be switched over manually. The switch-over time for plants that are regenerated with heat is set by economic factors and usually takes between 4 and 8 hours.

Large quantities of gas and high operating pressures can necessitate the use of more than two adsorbers. This situation also obtains in the case of special processes where the adsorbers are switched on-stream in series in order to achieve particular effects.

Vergleich von Gegen- und Gleichstromregeneration
Comparison of counter current regeneration and direct current regeneration



Regenerationsverfahren

Bei der Adsorption wird das Wasser am Adsorbens rein physikalisch gebunden. Zur Regeneration, die auch Desorption bzw. Aktivierung genannt wird, muss das Regenerationsgas eine sehr niedrige relative Feuchte haben, um ein Konzentrationsgefälle vom Adsorbens zum Regenerationsgas zu erreichen. Die Absenkung der relativen Feuchte ist sowohl durch Entspannung, eventuell bis ins Vakuum, als auch durch Erwärmung des Gases zu erreichen. Sehr wirkungsvoll ist die Erwärmung, da gleichzeitig die notwendige Desorptionswärme zur Verfügung steht.

Energetisch ist die Desorption im Gegenstrom zur Adsorption am günstigsten und auch für das Adsorptionsmittel am schonendsten. Bei der Gleichstromregeneration trifft die am Anfang desorbierbare Feuchtigkeit auf ein ungesättigtes Bett auf der Austrittsseite. Mit der dort nochmals stattfindenden Adsorption steigt der Energieverbrauch für die Regeneration. In manchen Fällen kann jedoch die Gleichstromregeneration auch positive Auswirkungen haben. Koadsorbierte Stoffe, z. B. Olefine, werden durch das vorher desorbierte Wasser verdrängt (Verdrängungsadsorption).

The Regeneration Process

In the adsorption process, water becomes bound in a purely physical sense to the adsorption agent. For the regeneration process, also called desorption or activation, the regeneration gas must have a very low relative humidity in order to establish a concentration gradient between the adsorption agent and the regeneration gas. A decrease in the relative humidity can be achieved by either depressurizing the gas (possibly down to a vacuum) or heating it. Heating is very effective since the required desorption heat will simultaneously be available.

Less energy is consumed when desorption is carried out in the counter current to the drying flow. Another advantage of counter current desorption is that it is more beneficial for the adsorption agent. If regeneration is carried out in the same flow direction as that for adsorption, the moisture desorbed at the inlet encounters an unsaturated bed on the outlet side. The adsorption taking place on the outlet side again leads to an increase in the energy consumption for regeneration. In some gases, however, regenerating in the direct current can also have positive effects. Co-adsorbed substances such as olefins will be displaced by the previously desorbed water (displacement adsorption).

Entfernung von Wasser und Kohlendioxid aus Synthesegas (CO u. H₂)
Durchsatz: 8.700 Nm³/h, Betriebsdruck: 24 bar
Removal of water and carbondioxide from synthesis gas (CO and H₂)
Flow rate: 8,700 Nm³/h, Operation pressure: 24 bar



Regeneration durch atmosphärische Luft

Während ein Adsorber die Trocknung übernimmt, wird der andere im Gegenstrom regeneriert. Ein Gebläse saugt atmosphärische Luft an, die in einem Erhitzer auf die erforderliche Regenerationstemperatur erwärmt wird. Zur indirekten Erwärmung werden bei kleineren Anlagen Elektrowärme, bei größeren überwiegend Dampf oder auch andere Wärmeträger eingesetzt.

Die Warmluft treibt das vorher aufgenommene Wasser aus dem Adsorptionsmittel heraus und wird in die Atmosphäre geleitet. Sobald der größte Teil des Wassers ausgetrieben ist, steigt die Austrittstemperatur schnell an. Zu diesem Zeitpunkt wird der Regenerationsvorgang durch einen Temperaturschalter beendet, so dass nur das erforderliche Minimum an Energie verbraucht wird.

Der Adsorber bleibt bei der einfachsten Anlagenausführung bis zur nächsten Umschaltung ohne besondere Kühlung stehen. Um den bei Wechsel der Adsorber auftretenden Feuchtestoß zu vermeiden und den Temperaturstoß zu mildern, kann das Adsorptionsmittel auch mit einem kleinen Teilstrom entspannten getrockneten Gases angekühlt werden.

Druckstöße werden durch langsames Unterdrucksetzen vor bzw. Entspannen nach der Umschaltung vermieden.

Regeneration via Atmospheric Air

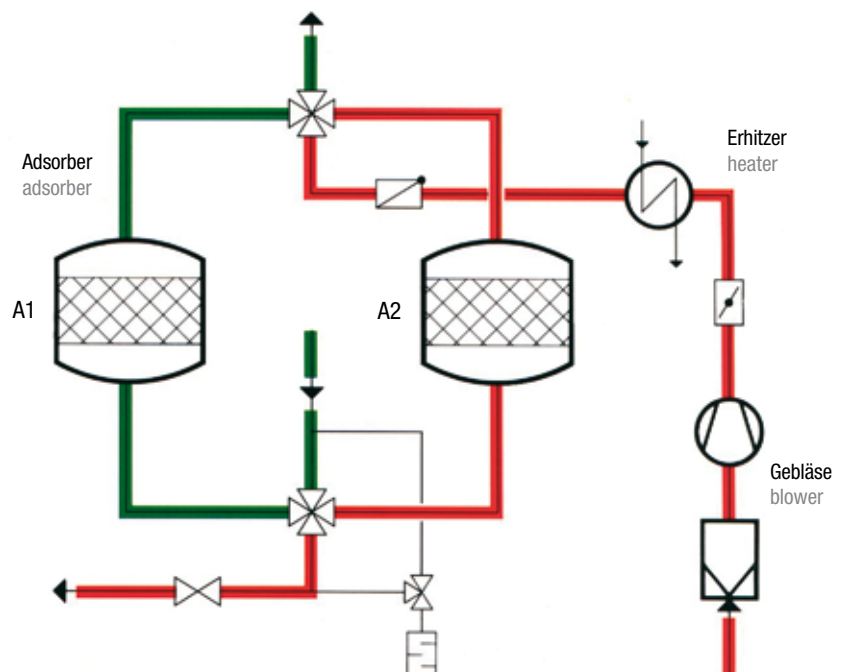
While one adsorber is being used for the drying process, the other one is regenerated in the flow direction opposite to that used during adsorption. A blower sucks in atmospheric air through a filter, and the air is then warmed up to regeneration temperature by a heater. Electric heaters are generally used in smaller plants to provide indirect heating for the air, whereas in larger installations, steam or other heat carriers are most often used.

The warm air expels the previously adsorbed water out of the desiccant and is then exhausted back into the atmosphere. As soon as most of the water has been expelled, the temperature at the outlet increases rapidly. Then a thermo-switch terminates the regeneration process so that only the necessary minimum of energy will be used.

In the most simple type of an adsorption plant the adsorber operates without any special cooling until the next switch-over. In order to avoid the peak of moisture that occurs when the adsorber is changed over and to reduce the thermal peak the desiccant can be cooled with a small partial stream of depressurized gas.

Pressure surges can be avoided by pressurizing the adsorber slowly before switching it on-stream, and also depressurizing it slowly after taking the adsorber off-stream.

█ Beladung / loading
█ Aktivierung / activation





Drucklufttrocknung, Regeneration unter Nutzung der Kompressionswärme. Durchsatz: 8.500 Nm³/h
 Compressed air drying unit, regeneration by use of the compression heat; capacity: 8,500 Nm³/h

Wasserstofftrocknung, Regeneration im Kreislauf
 Durchsatz: 650 Nm³/h, Betriebsdruck: 1 bar
 Hydrogen drying unit, regeneration in a closed loop
 Flow rate: 650 Nm³/h, Operation pressure: 1 bar



Regeneration im Kreislauf

Dieses Verfahren wird eingesetzt, wenn auf jeden Fall eine Vermischung des zu trocknenden Gases mit Luft vermieden werden soll.

Die Regeneration besteht aus der Aktivierung und der anschließenden Kühlung. Das Regenerationsgas (in den meisten Fällen dasselbe Gas, das zu trocknen ist) wird von einem gasdichten Gebläse im Kreislauf gefördert. Das im Erhitzer erwärmte Gas treibt das adsorbierte Wasser im Gegenstrom aus dem Adsorptionsmittel. Das warme, mit Feuchtigkeit beladene Regenerationsgas wird im Kreislauf-Kühler gekühlt, wobei das desorbierte Wasser auskondensiert.

Erreicht das Regenerationsgas am Adsorberaustritt die vorgegebene Temperatur, wird auf Kühlung umgeschaltet. Diese erfolgt immer im Gleichstrom zur Adsorption. Die Umkehrung der Strömungsrichtung ist sehr wichtig, da anderenfalls die Austrittsseite des Adsorptionsmittelbettes mit desorbiertem Restwasser beladen wird und somit bei jedem Adsorberwechsel ein deutlicher Feuchtestoß auftritt.

Die Regeneration wird meist bei geringem Überdruck durchgeführt. Wenn die Trocknung bei höheren Drücken erfolgt, muss der Adsorber vor der Umschaltung unter Druck gesetzt und nach der Umschaltung der zu regenerierende Adsorber entspannt werden.

Closed-Cycle Regeneration

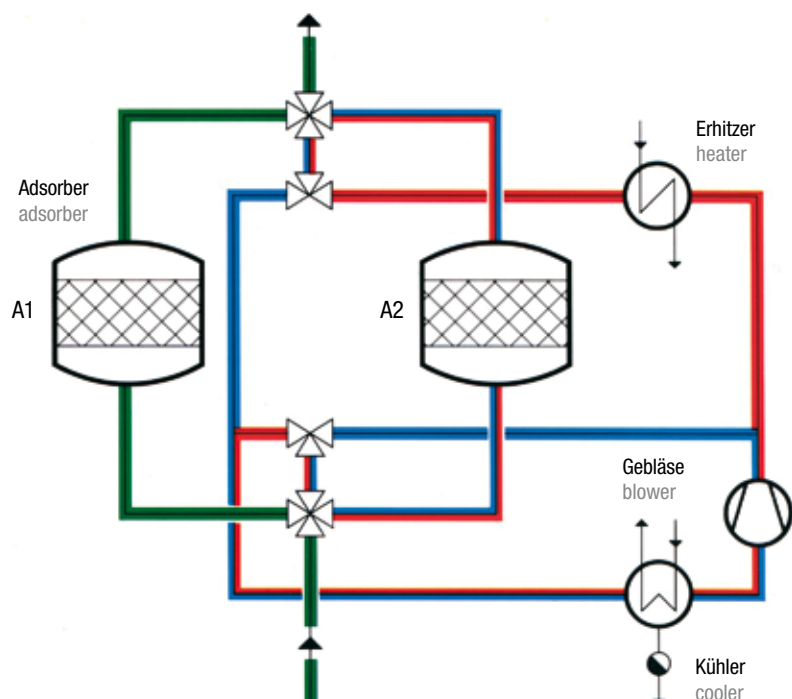
This process is used whenever the gas to be dried must not be mixed with atmospheric air under any circumstances.

This type of regeneration consists of an activation and a sub-sequent cooling. A gastight blower transports the gas (in most cases the gas to be dried) around in a closed cycle. After being warmed by a heater, the gas drives the previously adsorbed moisture in counter direction out of the adsorber. Before being returned to the blower, the gas coming from the adsorber is then cooled down in a cooler where the water condenses out.

When the temperature at the outlet of the adsorber exceeds a particular value, a thermostat automatically switches over to cooling which always takes place in the same flow direction as adsorption. The reversal of the flow direction is very important since otherwise the outlet side of the adsorption bed would be loaded with desorbed residual water. In this case, there would be a distinct surge of moisture whenever the adsorber was changed over.

The regeneration is often carried out under a slight overpressure. If drying takes place at higher pressures, the adsorber has to be pressurized before the change-over, and after the change-over the adsorber to be regenerated has to

- █ Beladung / loading
- █ Aktivierung / activation
- █ Kühlung / cooling





Kohlendioxid Reinigungs- und Trocknungsanlage
Durchsatz: 22.000 kg/h, Betriebsdruck: 19 bar
Carbondioxide purification and drying unit
Flow rate: 22,000 kg/h, Operation pressure: 19 bar

Regeneration durch Kompressionswärme

Dieses Verfahren wird sowohl zur Trocknung von Druckluft als auch von allen anderen Gasen eingesetzt. Für die Regeneration wird die Kompressionswärme genutzt, so dass die Betriebskosten sehr gering sind. Gasverluste bei der Regeneration treten nicht auf.

Während der Regeneration ist die Klappe in der Eintrittsleitung in Drosselstellung. Ein Teilstrom des heißen Gases wird vor dem Kompressionsendkühler abgezweigt und im Gegenstrom zur Adsorption durch den Adsorber geleitet. Nach Verlassen des Adsorbers wird der Teilstrom rückgekühlt und hinter der Drosselklappe dem Hauptstrom wieder zugemischt.

Im Anschluss an die Aktivierung wird das Adsorptionsmittel gekühlt, so dass bei Wechsel der Adsorber kein Feuchte- und Temperaturstoß auftritt. Während der Kühlphase wird der Teilstrom hinter dem Kompressionsendkühler abgezweigt und im Gleichstrom zur Adsorption durch den Adsorber geleitet. Der Kühlteilstrom wird nach Verlassen des Adsorbers rückgekühlt und hinter der Drosselklappe dem Hauptstrom wieder zugemischt.

Eine Variante dieses Verfahrens besteht darin, dass nicht mit einem Teilstrom, sondern mit der vollen Gasmenge regeneriert wird. Dies ist besonders bei stark schwankendem Gasdurchsatz von Vorteil, da auf eine Regelung der Teilstrommenge verzichtet werden kann. Der Gesamtdruckverlust der Anlage ist jedoch höher.

Regeneration via the Heat of Compression

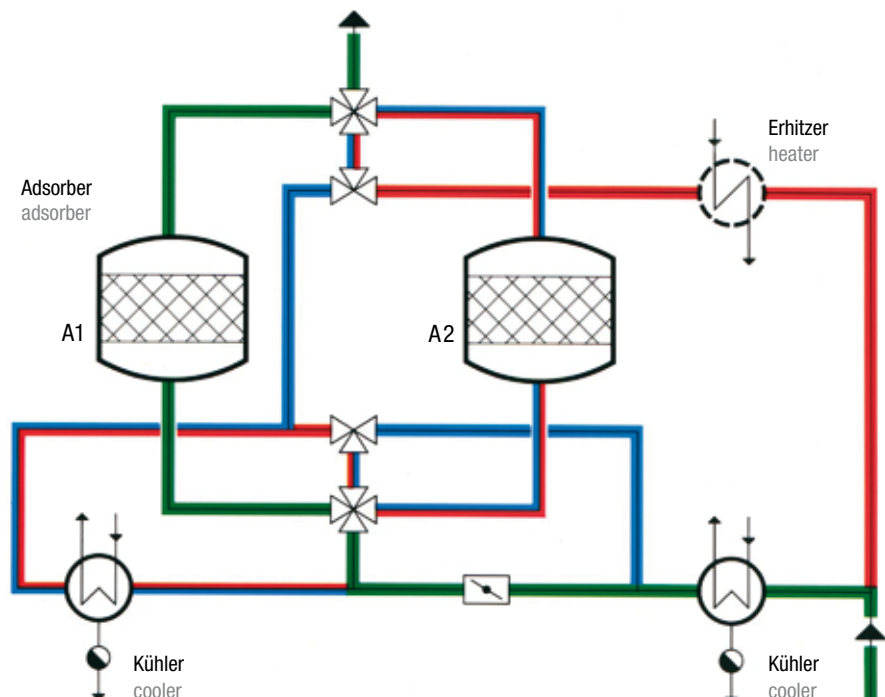
This process is used to dry compressed air as well as all other gases. This type of regeneration exploits the heat of compression so that operating costs are extremely low. There are no gas losses in this type of regeneration.

During regeneration the throttle valve in the inlet duct is in the throttling position. A partial stream of the hot gas is tapped off before it reaches the compression-end-cooler and conveyed through the adsorber in the opposite flow direction to that for adsorption. After leaving the adsorber, the partial stream is cooled and subsequently mixed with the main stream again behind the throttle valve.

After the activation phase has been completed, the adsorption agent is cooled so that no surges in moisture or temperature occur when the adsorber is changed over. During the cooling phase, the partial stream is tapped off behind the compression-end-cooler and conveyed in parallel flow through the adsorber. After leaving the adsorber, the cooling partial stream is also re-cooled and then mixed with the main stream behind the throttle valve.

A variation in this process is to use the entire quantity of gas in the main stream for regeneration rather than the partial stream. This technique is particularly advantageous when there are significant fluctuations in the gas flow rate. In this case, the control of the partial stream flow rate can be eliminated, but the total pressure-loss is higher.

█ Beladung / loading
█ Aktivierung / activation
█ Kühlung / cooling





Druckluft-Trocknungsanlage, Regeneration unter Nutzung
der Kompressionswärme, Durchsatz 100.000 Nm³/h
Compressed-air drying unit, regeneration by use of the
compression heat, capacity 100,000 Nm³/h

Regeneration durch getrocknetes Gas

Dieses Verfahren eignet sich vor allem bei hohen Drücken, da dann zur Regeneration nur ein kleiner Teil der Gesamtgasmenge benötigt wird. Zur Regeneration wird der beladene Adsorber entspannt und ein kleiner Teil des getrockneten Gases im Gegenstrom durch den Adsorber geleitet. Um die Regeneration zu verbessern und vor allen Dingen den Teilstrom möglichst klein zu halten, setzt man in den meisten Fällen zusätzlich einen Erhitzer ein. Zur Vermeidung von Gasverlusten kann das Regeneriergas auf die Saugseite des Kompressors zurückgeführt werden.

Dieses Verfahren wird häufig eingesetzt, wenn neben der Trocknung eine adsorptive Reinigung des Gases gewünscht wird, wie z. B. die Entfernung von geringen Anteilen Kohlendioxid, Ammoniak usw. Die Rückführung des Regeneriergases zum Kompressor ist dann jedoch nicht möglich.

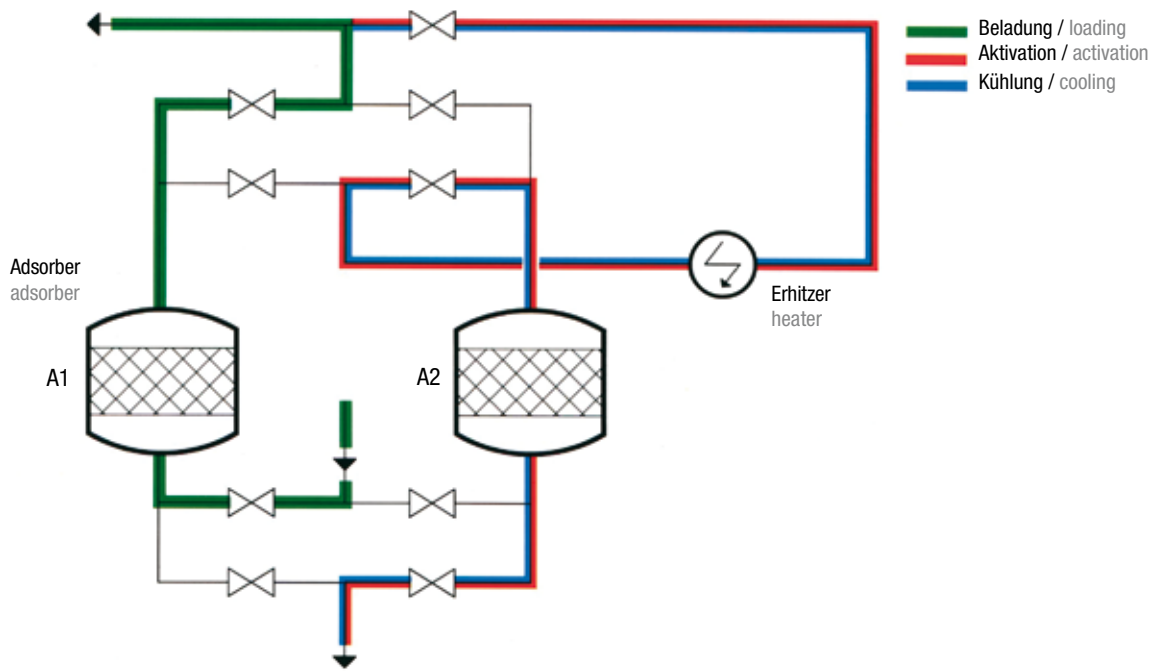
Regeneration via Dry Gas

This process is particularly suitable for high pressure applications since then only a small part of the total quantity of gas is needed for regeneration. For regeneration, the loaded adsorber is depressurized and a small fraction of the dried gas is conveyed through the adsorber in the opposite direction, relative to the drying flow. In order to improve regeneration and, in particular, to keep the partial stream small, a supplementary heater is added in most cases. To avoid gas losses, the regeneration gas can be conveyed back to the suction side of the compressor.

This process is often used when an adsorptive cleaning of the gas is requested in addition to the drying. For example, this type of cleaning could remove small quantities of carbon dioxide, ammonia, etc. In this case, it is not possible to return

Synthesegas-Trocknung in einer Ammoniak-Anlage
Durchsatz: 250.000 Nm³/h, Betriebsdruck: 58 bar
Drying unit for synthesis gas in an ammonia plant
Flow rate: 250,000 Nm³/h, Operation pressure: 58 bar





Erdöl-Begleitgas-Trocknung, Regeneration unter Druck
 Durchsatz: 110.000 Nm³/h, Betriebsdruck: 31 bar
 Drying unit for petroleum gas, regeneration under pressure
 Flow rate: 110,000 Nm³/h, Operation pressure: 31 bar



Trocknung organischer Flüssigkeiten

Durch Adsorption lassen sich organische Lösemittel häufig besser von Wasser befreien als mit anderen Verfahren. In vielen Fällen ist es der einzige Weg, da auch durch Rektifikation und Membrantechnik derartig niedrige Wassergehalte wirtschaftlich nicht erreichbar sind.

Man kann mit Silica Gel-Produkten und Alu-Gel Restwassergehalte von 2 ... 20 ppm (Gew.) und mit Molekularsieben sogar weit unter 1 ppm erreichen.

Mit der Trocknung durch stark hygroskopische Chemikalien werden ähnliche Werte erreicht. Diese Stoffe sind jedoch häufig sehr aggressiv und relativ schwer in den Flüssigkeitsstrom ein- und auszuschleusen; außerdem müssen sie meist hinterher deponiert werden. Überwiegend werden wasserunlösliche organische Flüssigkeiten und verflüssigte Gase (LPG) getrocknet, z. B. Paraffine: wie Propan, Butan, Pentan, Hexan, Olefine: wie Propylen, Butylen, Aromaten: wie Benzol, Toluol, Xylol, Chlorkohlenwasserstoffe: wie Dichlormethan, Trichlorethen.

Auch die Trocknung teilweise bzw. vollständig wasserlöslicher Lösemittel ist möglich, wobei aus wirtschaftlichen Gründen nur die Restentwässerung von max. 0,5 ... 1 Gew.% in Frage kommt. Entwässert werden z. B. Alkohole: wie Methanol, Ethanol, Isopropanol, Ester: wie Ethylacetat, Propylacetat, Ketone: wie Aceton, MEK, Cyclohexanon.

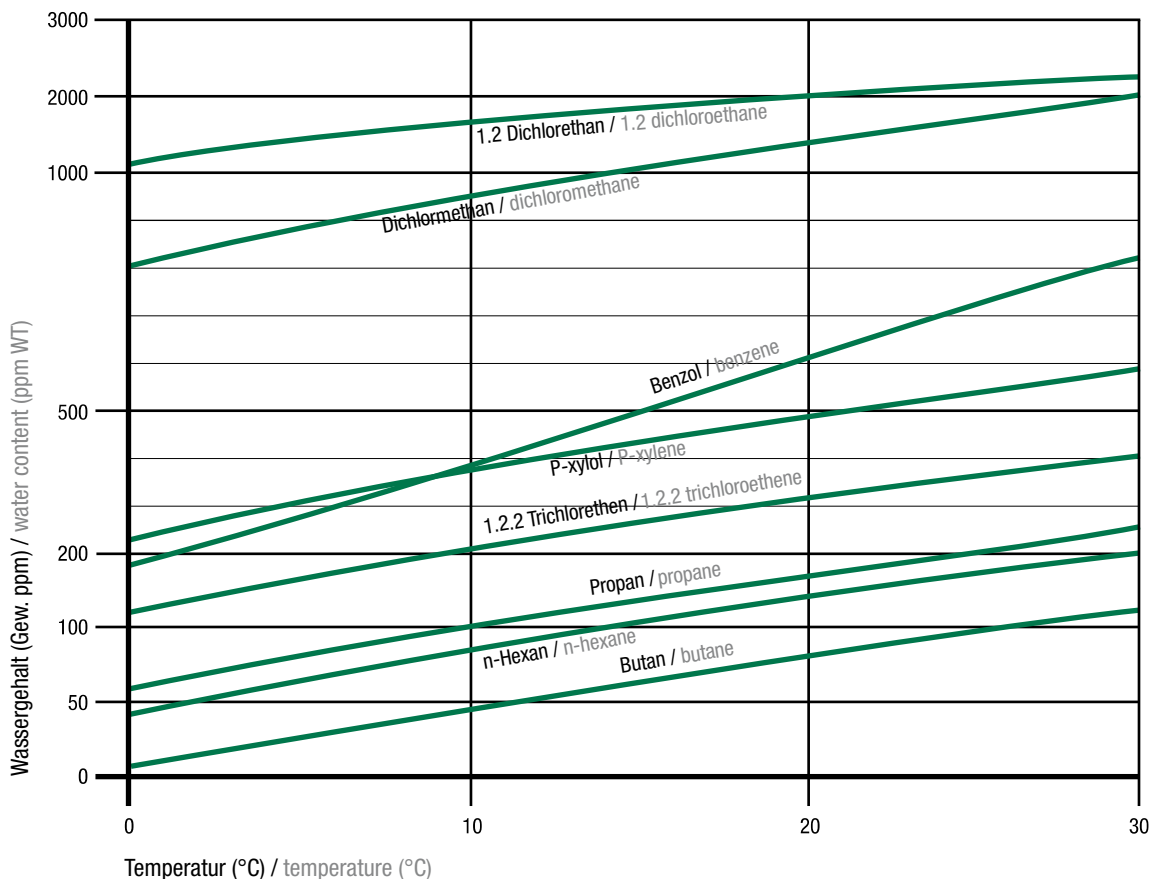
Drying Organic Liquids

Adsorption can often extract water more effectively from organic solvents than any other process. In many cases, adsorption is the only method since such low concentrations of water cannot be economically reached with rectification or membrane technology. With Silicagel products and activated alumina residual water concentrations of 2 to 20 ppm (weight) can be achieved and with molecular sieves even concentrations below 1 ppm are possible.

Similar concentrations can be achieved by drying with highly hygroscopic chemicals. These substances are, however, mostly very aggressive and relatively difficult to transfer in and out of the liquid stream; in addition, after these substances have been utilized, there are usually problems with their disposal. The overwhelming majority of substances to be dried are water insoluble liquids and liquefied gases (LPG), e.g., paraffines: such as propane, butane, pentane, olefins: such as propene, butene, aromatics: such as benzene, toluene, xylene, chlorinated hydrocarbons: such as dichloromethane, dichloroethane, trichloroethylene.

It is also possible to dry solvents that are either fully water soluble or partially water soluble. For economic reasons, however, only residual water concentrations of max. 0.5 to 1 WT.% should be considered. Substances that can be dehydrated are, for example, alcohols: such as methanol, ethanol, isopropanol, esters: such as ethyl acetate, propyl acetate, ketones: such as acetone, MEK, cyclohexanone.

Löslichkeit von Wasser in Flüssigkeiten
Solubility of water in organic liquids



Die Trocknung von Flüssigkeiten ist weitaus problematischer als die von Gasen. Die Wassermoleküle haben es sehr viel schwerer, von der dichten Flüssigkeitsphase zum Adsorbens zu gelangen und müssen meist auch die koadsorbierten organischen Flüssigkeiten verdrängen. Nur bei sehr engporigen Molekularsieben kann diese Koadsorption verhindert werden, die auch mit einer Erwärmung des Bettes verbunden ist. Für die Adsorption ist eine lange Kontaktzeit zwischen Flüssigkeit und Adsorbentien erforderlich.

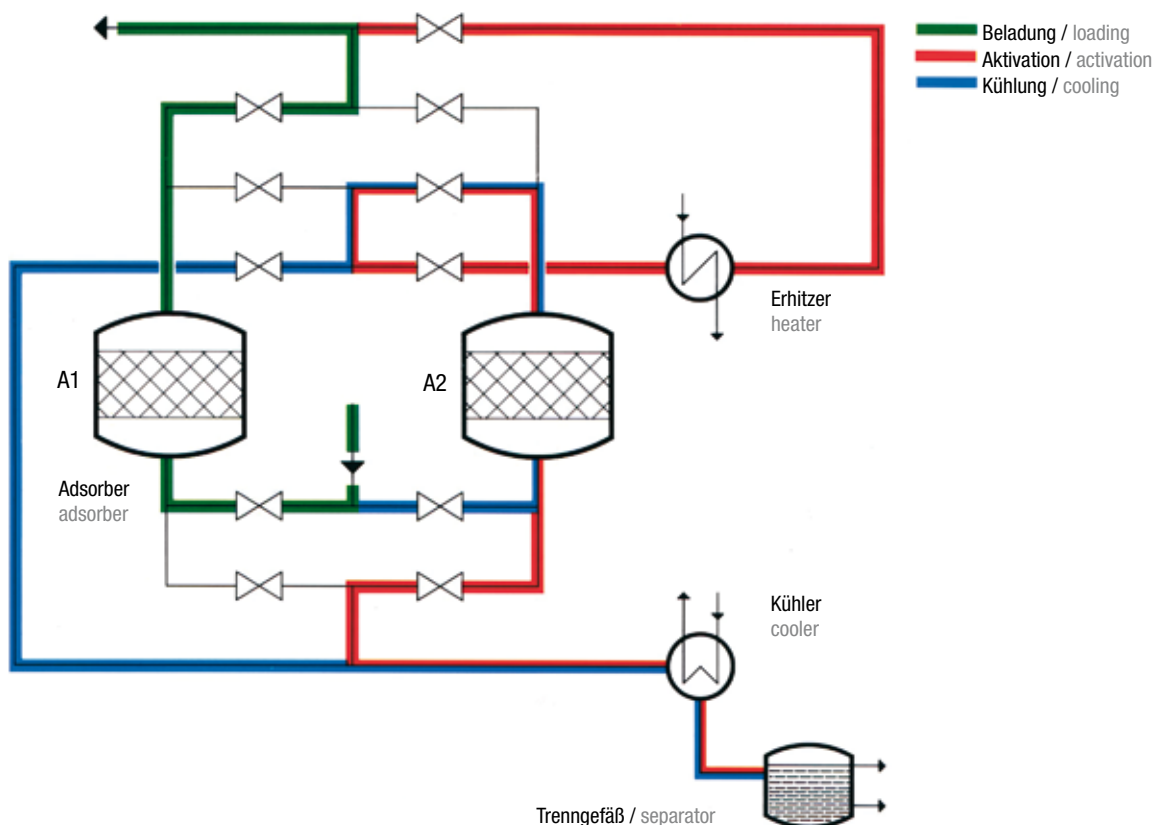
Die Regeneration wird in der Gasphase durchgeführt. Man muss daher die Flüssigkeit ablaufen und abtropfen lassen, ehe man mit der Desorption beginnen kann. Als Regenerationsgas wird entweder verdampfte Flüssigkeit oder ein Inertgas verwendet. Bei Einsatz von Inertgas erfolgt die Regeneration des beladenen Adsorbens praktisch immer im Kreislauf, so dass die koadsorbierten Lösemittel nicht verloren gehen. Bei verflüssigten Gasen wird das entspannte Gas im Kreislauf gefördert, während bei anderen Flüssigkeiten im allgemeinen mit Stickstoff regeneriert wird. Der Energieaufwand für 1 kg desorbiertes Wasser liegt etwa bei dem 1,3- bis 2-fachen der Gastrocknung.

Für die Flüssigkeitstrocknung werden Festbettadsorber eingesetzt, die wegen der notwendigen hohen Schichten immer stehend angeordnet sind. Für einen diskontinuierlichen Betrieb reicht eine Einadsorberanlage, während für kontinuierlichen Betrieb zumindest zwei Adsorber eingesetzt werden. Wegen der erforderlichen Zeit für Abfließen, Abtropfen und Füllen der Flüssigkeit benötigt man längere Beladezeiten. Sie liegen normalerweise bei 8 bis 24 Stunden, teilweise sogar bei einer Woche. Bedingt durch die lange Beladezeit und den relativ großen Aufwand für die Automatisierung sind häufiger handgeschaltete Anlagen im Einsatz.

Drying liquids is much more problematical than drying gases. In the denser liquid phase, the water molecules have much more difficulties in making their way to the adsorbent. Also, these water molecules usually have to displace the co-adsorbed organic liquids since they are also adsorbed by most adsorption agents. This co-adsorption can only be prevented by using molecular sieves having very fine-mesh pore structures (micropores). The process of co-adsorption always releases energy that heats up the bed. For liquids, adsorption requires a long contact time between the liquid and the adsorbent.

Regeneration is carried out in the gas phase. Therefore, the liquid or an inert gas is used as regeneration gas. When inert gas is used, the regeneration of the loaded adsorbent is almost always carried out in a closed cycle so that the co-adsorbed solvents are not lost in the process. When the substances are liquefied gases, the depressurized gas is conveyed through the closed cycle, whereas in the case of other liquids, nitrogen is generally used for the regeneration. For 1 kg of desorbed water, the energy consumption lies approximately 1.3 to 2 times higher than that necessary for drying gases.

Fixed-bed adsorbers are used for drying liquids. Due to the necessary contact time the adsorbers are relatively high and always mounted with their axis in vertical position. If the facility is operated only periodically, a one-adsorber plant is quite sufficient. In order to sustain continuous operations, however, at least two adsorbers are necessary. Since more time is required here for the operating cycle as well as the draining and filling of liquid, longer loading times are necessary. These times are usually on the order of 8 to 24 h, but in some cases can be as long as a week. Because of both the longer loading times and the relatively high costs for providing an automatic



Anlagenausführung und Betriebskosten

Für den sicheren Betrieb einer Anlage ist die Auswahl geeigneter Materialien und Bauelemente von großer Bedeutung. Wir können auf jahrzehntelange Erfahrungen zurückgreifen.

Zur Aufheizung des Regeneriergases werden Elektroerhitzer mit Rohrheizkörpern aus Edelstahl oder bei anderen Wärmeträgern wie Dampf, Heißwasser, Thermoöl usw. Rippenroherelemente bzw. Glatrohrwärmetauscher eingesetzt. Bei kleinen Nennweiten verwenden wir wartungsfreie Drei- und Vierwegehähne mit PTFE-Buchse, bei größeren Nennweiten kommen Absperrklappen, aber auch Spezialventile eigener Konstruktion zum Einsatz.

Um den hohen Anforderungen zu genügen, werden die Anlagen häufig auf der nassen Seite in Edelstahl ausgeführt. Besonders bei Gas- und Flüssigkeitstrocknungsanlagen werden neben den üblichen Chromnickelstählen auch höher legierte Stähle, wie 1.4539, 1.4462 usw. oder PTFE-ausgekleidete Elemente verwendet.

Unsere Konstruktion und Fertigung erfolgt nach den deutschen Standards und Vorschriften. Es können aber auch Kundennormen und die unterschiedlichsten nationalen Normen wie ASME, BS, CODAP, ISPEL u.a.m. berücksichtigt werden.

Kontinuierlich arbeitende Anlagen werden überwiegend automatisch betrieben. Bevorzugt kommen freiprogrammierbare elektronische Steuerungen zum Einsatz, die im eigenen Hause projektiert und ausgeführt werden. Die Umschaltung der Adsorber erfolgt entweder in festen Zeitabständen oder nach Feuchtedurchbruch. Besonders größere Anlagen werden über ein Feuchtemessgerät gesteuert, da dadurch erhebliche Betriebskosten eingespart werden können.

Wegen ihrer hohen Aufnahmekapazität und der günstigen Betriebskosten sind Silica Gel-Produkte für die meisten Anwendungsfälle die richtige Wahl. Bei wasserdampfgesättigten Gasen wird durch Einsatz von wasserfesten Adsorptionsmitteln auf der Eintrittsseite eine Schädigung durch Wasser verhindert.

Andere Adsorptionsmittel, wie Alu-Gel und Molekularsiebe, werden vor allem eingesetzt, wenn Silica Gel-Produkte nicht ausreichen, z. B. bei alkalischen Verunreinigungen im Gas, wenn eine besonders niedrige Restfeuchte gefordert ist oder wenn andere Komponenten, wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid u.a.m. entfernt werden sollen.

Der Wärmeverbrauch für die Regeneration beträgt pro kg ausgetriebenes Wasser:

Silica Gel-Produkte: 7.100 bis 8.400 kJ

Alu-Gel: 9.600 bis 11.300 kJ

Molekularsiebe: 11.000 bis 13.000 kJ

Types of Plants and Operating Costs

The choice of appropriate materials and components in order to ensure safe, reliable operation of a plant is of great importance. We can draw on decades of experience in these considerations.

The regeneration gas is heated by an electric heater having stainless steel tubular radiators or, when use is made of heat carriers such as steam, hot water, thermo-oil, etc., fin- or plain-tube heat exchangers are applied. For small nominal widths we use maintenance-free three- and four-way valves with PTFE bearings. For larger nominal widths butterfly valves or also special valves of our own design are used.

In order to satisfy the highest requirements, the plants are often constructed of stainless steel on their wet side. Particularly in the case of drying plants for gases and liquids, high alloyed chrome-nickel steels or PTFE-lined elements are used in addition to the usual stainless steels.

Our methods of design and production conform to the German standards and regulations. However, customer standards and the various national standards such as ASME, BS, CODAP, ISPEL and others can also be taken into consideration.

The vast majority of continuously operating plants are operated automatically. Emphasis is placed on the use of freely programmable electronic controls that are designed and produced in-house. The adsorber is switched over either at fixed time intervals or after a moisture break-through. Particularly large plants are controlled via a moisture sensor since significant operating costs can be thereby saved.

Because of their high adsorption capacity and favourable operating costs, Silicagel products are the right choice for most applications. In the case of gases that are saturated with water vapour, the use of waterproof adsorption agents on the inlet side of the facility can prevent water damage.

Other adsorption agents such as activated alumina or molecular sieves are mainly used in the following cases when Silicagel products are not sufficient: e.g., if the gas is contaminated with alkalines, if a particularly low residual water concentration is required, or if other components such as ammonia, hydrogen sulfide or carbon dioxide among others have to be removed.

For each kg of water extracted, the heat consumption in the regeneration process is:

Silicagel products 7,100 to 8,400 kJ

activated alumina 9,600 to 11,300 kJ

molecular sieves 11,000 to 13,000 kJ

Trocknungsanlage für flüssiges Propylen,
Durchsatz 20.000 kg/h
Drying unit for liquid propene
capacity 20,000 kg/h



Einsatz von Adsorptionsanlagen

Unsere Adsorptionsanlagen werden überall eingesetzt, wo trockene Luft und Gase benötigt werden, wie z. B. in Raffinerien, chemischen Fabriken, Stahlwerken, Maschinen-, Glas- und Textilfabriken, Kernkraftwerken, wissenschaftlichen Instituten und Versuchsanstalten, der Lebensmittel-, Auto- und Elektroindustrie u.a.m.

Lufttrocknungsanlagen werden eingesetzt für: Instrumentenluft, Prozessluft für chemische Verfahren, die Förderung und Trocknung von Granulaten, für Doppelglasscheiben, Höhenprüfstände, Windkanäle, Atmungsluft für Tankanlagen u.v.m.

Drucklufttrocknungsanlagen bieten wir ab einer Leistung von ca. 5.000 Nm³/h an; wir haben Anlagen mit einer Leistung von mehr als 100.000 Nm³/h gebaut.

Gastrocknungsanlagen liefern wir in jeder Größe vom Vakuumbereich bis zu Drücken von mehr als 500 bar.

Windkanal-Trocknungsanlagen werden gebaut mit Momentandurchsätzen, die mehr als 500.000 Nm³/h entsprechen.

Durch Einsatz von Molekularsieben reinigen wir Luft und Gase, indem Stoffe, wie Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Kohlendioxid u.a.m., selektiv adsorbiert werden.

Use of Adsorption Plants

Our adsorption plants can be used wherever there is a need for dry air and gases, e.g., in refineries, chemical plants, steel works, factories for machinery, glass and textiles, nuclear power plants, scientific establishments, in industrial plants for food processing, automobile manufacture and electrical products and many other activities.

Air drying plants are used for: instrument air, process air for chemical processes, the production and drying of granulated materials, thermal panes of glass, high-altitude test stands, wind tunnels, breathing air for tanks and many other uses.

We offer plants to dry pressurized air beginning with an output capacity of approx. 5,000 Nm³/h; we have built plants having output capacities of more than 100,000 Nm³/h.

Gas drying plants of any desired size can be delivered with operating pressures extending from the vacuum range up to more than 500 bar.

Wind tunnel drying plants can be built with instantaneous flow rates that correspond to flow rates of 500,000 Nm³/h.

We can purify air and gases by using molecular sieves to selectively adsorb substances such as hydrogen sulfide, ammonia, carbon dioxide, and many others.

Montage einer Erdgasaufbereitungs-Anlage
für einen Untergrundspeicher
Assembly of a natural gas treatment unit used
for an underground storage





Vormontage von Skids für eine Erdöl-Begleitgas-Trocknung
Preassembly of skids for a drying unit for petroleum gas

Armaturenskid, in unserem Werk vormontiert
Valve skid, prefabricated in our workshop





SILICA

**Silica
Verfahrenstechnik
GmbH**

Wittestraße 24
D-13509 Berlin
Telefon 030/435 735
Telefax 030/435 73 300

**Planung
Konstruktion
Fertigung
Montage
Inbetriebnahme**

**Design
Engineering
Production
Mounting
Commissioning**