

Sorption als Tausendsassa

Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Sorptionsprozessen

Mirko Kleingries¹, Stefan Krimmel¹, Tobias Käch¹, Sergio Tresch¹



Sorption ist in der Natur, im Alltag und auch im Labor allgegenwärtig. Beispielsweise werden Luft und das Wasser von Flüssen durch Adsorption von Schwebstoffen an den Pflanzen und am Boden gereinigt. Der Stoffwechsel von Lebewesen erfolgt in erster Linie durch Absorption, hier auch Resorption genannt.

Zeolith-Quelle: Fraunhofer IGB <http://bit.ly/IGB-Waermespeicher>

In der Technik sind Sorptionsprozesse klassische Prozesse der thermischen Verfahrenstechnik. Beispiele sind Gaswäschen zur Entfernung von CO_2 aus Biogas mit organischen Absorptionsmitteln, Gasfeinreinigung mit Aktivkohle oder Lufttrocknung mit Zeolithen. Neben diesen klassischen Prozessen sind zunehmend Sorptionsprozesse mit erneuerbaren Energien getreten. Hierzu zählt beispielsweise die Klimatisierung von Gebäuden. Aber auch in kleinerem Massstab, im Labor, trifft man vielerorts auf technische Sorption, z. B. bei der Adsorption im Gaschromatographen (GC) oder bei der Trocknung von Proben im Exsikkator. Auf Grund der Vielseitigkeit der Sorptionsprozesse, werden diese nachfolgend erläutert und strukturiert. Für die unterschiedlichen Anwendungsfelder der Sorption werden Beispiele aufgeführt.

Physikalische Grundlagen

Sorption ist der Oberbegriff für Ad- und Absorption. Man spricht von Adsorption, wenn eine Anlagerung von Teilchen an der inneren oder äußeren Oberfläche eines Feststoffes, wie z. B. Geruchsstoffe an

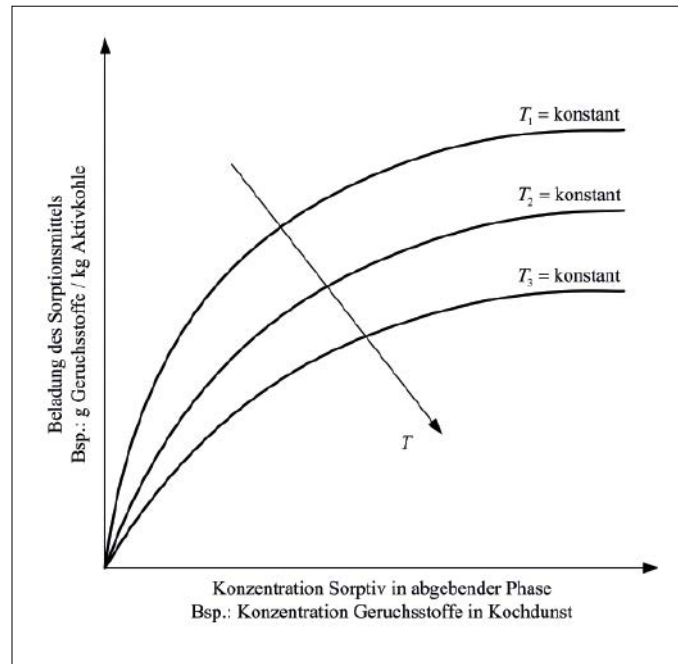


Abb. 1: Sorptionsisothermen: auf der senkrechten Achse ist die Beladung des Sorptionsmittels (Bsp. Aktivkohle) mit dem Sorptiv (Bsp. Geruchsstoffe) dargestellt, auf der waagerechten Achse der Partialdruck des Sorptivs in der abgebenden Phase (Bsp. Küchenluft) über dem Sorptionsmittel.

Aktivkohle in der Küchenabzugshaube, stattfindet. Eine Absorption findet statt, wenn Teilchen von einer Flüssigkeit aufgenommen werden, z. B. Luftfeuchtigkeit von einer hygroskopischen, wässrigen Salzlösung. Die Ab- oder Ad-

sorption geht meist mit einer Immobilisierung des Sorptivs, also der Abgabe von kinetischer Energie einher, so dass thermische Energie frei wird. Ein Molekül in der Gasphase hat beispielsweise bei der gleichen Temperatur mehr ki-

netische Energie als ein Molekül in der Flüssigphase. Im Gegenzug muss thermische Energie aufgewendet werden, um die ab- oder adsorbierte Phase wieder freizusetzen. Ein Sorptionsprozess kann also in der Regel durch Erhitzung des Sorptionsmittels rückgängig gemacht werden. Bei der Aktivkohle werden die Geruchsstoffe wieder ausgetrieben, bei der wässrigen Salzlösung wird das zusätzlich aufgenommene Wasser wieder abgetrennt und deren Salzkonzentration wieder auf die Konzentration vor der Adsorption erhöht. Wird der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt, spricht man bei der Desorption auch von einer Regeneration.

Der Sorptionsprozess ist also eine Verknüpfung von gleichzeitig ablaufendem Stoff- und Wärmetransport: bei der Stoffaufnahme wird Wärme frei, bei der Erhitzung wird ein Stoff frei. Durch den simultanen Ablauf beeinflussen sich der Stoff- und Wärmetransport gegenseitig. So kann die bei der Sorption entstehende Wärme das Sorptionsmittel aufheizen, wodurch die Fähigkeit des Sorptionsmittels, weiteren Stoff aufzunehmen, abnimmt. Sehr aussagekräftig sind diesbezüglich Diagramme mit Sorp-

tionsisothermen (Abb. 1). Diese Sorptionsisothermen stellen Gleichgewichtskurven dar. Wir erkennen, dass mit zunehmender Konzentration des Sorptivs in der abgebenen Phase (waagerechte Achse) die mögliche Beladung des Sorptionsmittels steigt (senkrechte Achse). Gleichzeitig sinken die Gleichgewichtsbeladungen mit steigenden Temperaturen. Eine Desorption ist also durch Absenkung der Sorptivkonzentration und/oder eine Erhitzung möglich. Ein grosser Beladungshub des Sorptionsmittels kann durch Ad-/Absorption bei grossen Drücken und niedrigen Temperaturen und Desorption bei niedrigen Drücken und hohen Temperaturen erzielt werden [1].

Stofftrennung

Die oben beschriebene Natur der Sorption macht deutlich, dass Sorptionsprozesse Stoffe trennen können. Dies kann ein thermischer Trennprozess in großem Maßstab sein, wie die kontinuierliche CO₂-Abtrennung von Erd- oder Biogas mit Gaswäschern, aber ebenso die Trocknung von flüssigen Kältemitteln in Wärmepumpen, die Feinreinigung von Gasgemischen oder die Trocknung von Luft während des Transports von Elektronikhardware und Kleidung.

Stoffspeicherung

Wird ein Stoff an- oder eingelagert, kann er mit dem Sorptionsmittel gespeichert werden. Dies kann im Vergleich zur Speicherung des reinen Sorptivs grosse Vorteile bieten. So wird Wasserstoff vielfach in Metallhydriden eingelagert, um mit verhältnismäßig hoher Dichte bei geringem Gefahrenpotenzial und nahezu keinen Lagerverlusten gespeichert werden zu können. Die Alternative bei Wasserstoff wäre die Speicherung im flüssigen Zustand bei sehr niedrigen Temperaturen, wobei durch Wärmeintrag Verluste entstünden oder die Speicherung im gasförmigen Zustand bei sehr hohen Drücken.

Wärmetransformation

Erfolgt die Desorption durch Erhitzung, so findet sie bei höheren Temperaturen als die Ad- bzw. Absorption statt. Werden die Ad-/Absorption und die Desorption in einem geschlossenen Prozess betrieben, wird neben diesen beiden Temperaturniveaus ein drittes Temperaturniveau relevant. Dies sei an einem geschlossenen Demonstrator erläutert (Abb. 2).

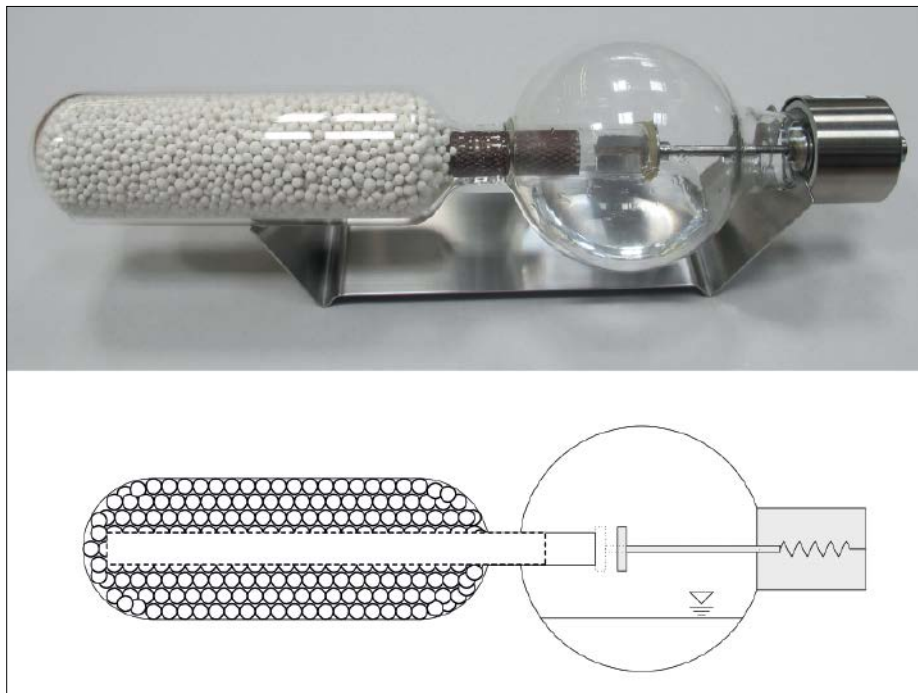


Abb. 2: Demonstrator für einen geschlossenen Sorptionsprozess

In der rechten, kugelförmigen Kammer des Demonstrators befinden sich Wasser und Wasserdampf im Unterdruck. Im zylindrischen linken Teil befinden sich desorbierte, also trockene, sorptionsaktive Zeolith-Kugeln. Das Wasser und das Zeolith sind durch ein Ventil voneinander getrennt. Wird nun das Ventil geöffnet, strömt Wasserdampf, der sich über dem Wasser gebildet hat, in das Zeolith und wird dort adsorbiert. Durch den Abtransport des Wasserdampfes verdampft fortwährend weiteres Wasser, wodurch das Wasser weiter abgekühlt wird, so dass es nach wenigen Sekunden nach Öffnen des Ventils gefriert. Durch die auf Grund des Zeoliths sehr geringe Wasserdampfkonzentration oberhalb des Eises sublimiert das entstandene Eis weiter, es wird also gasförmig, bis es vollständig abgebaut ist. Dieser Vorgang dauert einige Stunden. Somit ist auch das dritte Temperaturniveau erläutert: die niedrigsten Temperaturen liegen bei dem Demonstrator dort vor, wo das Wasser verdampft.

Genau dieses Prinzip der geschlossenen Sorptionsprozesse wird in grösserem Maßstab für Wärmepumpen und Kälteanlagen genutzt. Durch eine Wärmequelle mit hohem Temperaturniveau wird ein thermischer Prozess angetrieben, der bei dem niedrigsten Temperaturniveau Wärme aufnimmt und bei einem mittleren Temperaturniveau wieder abgibt. Die abgegebene Wärmemenge auf mittlerem Temperaturniveau entspricht den aufgenommenen Wärmemengen bei hohem und niedrigem Temperaturniveau. Diese Prozesse werden auch als Wärmetransformation bezeichnet.

Energiespeicherung

So lange das Zeolith im oben erläuterten Demonstrator trocken und das Ventil geschlossen ist, bleibt Energie gespeichert. Durch Öffnen des Ventils kann durch die Strömung des Wasserdampfes des Wasserbehälters ins Zeolith parallel sowohl „Kälte“ auf der Wasserseite als auch Wärme auf der Zeolithseite produziert werden. Diese sorptive Energiespeicherung ist über beliebig lange Zeiträume nahezu verlustfrei. Bei Energiespeichern, bei denen die Energien durch höhere Temperaturen eines Mediums gespeichert werden, so genannte „sensible Energiespeicherung“, gibt es zwangsläufig Wärme-, also Lagerverluste. Diese geschlossenen Systeme sind bereits für die saisonale Energiespeicherung für die Gebäudebeheizung untersucht worden. Nachteilig war hier der grosse technische Aufwand der Unterdrucktechnik. Als neues Konzept wäre hier beispielsweise ein offenes System mit einem so genannten Wanderbettreaktor denkbar [2]. Bei diesem Reaktor liegt das Zeolith nicht als Festbett ortsfest vor, sondern wandert durch den Reaktionsraum. In diesem Reaktionsraum wird das trockene Zeolith für die Wärmegewinnung befeuchtet oder das feuchte, bereits genutzte Zeolith durch eine Wärmequelle getrocknet. Das trockene und das feuchte Zeolith können dann getrennt gelagert und bedarfsgerecht, je nach Wärmebedarf oder -angebot, durch den Reaktor geführt werden (Abb. 3).

Ein grosser Vorteil dieses Konzepts ist die Flexibilität im Vergleich zu den geschlosse-

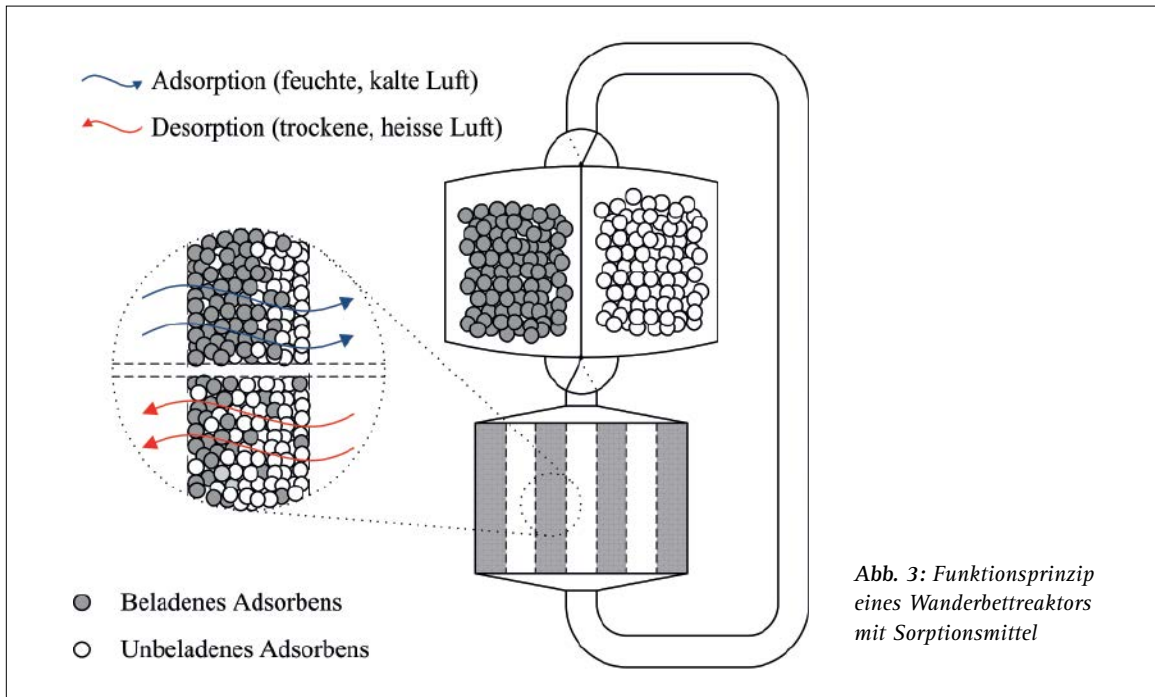


Abb. 3: Funktionsprinzip eines Wanderbettreaktors mit Sorptionsmittel

nen Systemen. Bei den geschlossenen Systemen sind Reaktionsraum und Speicher das Gleiche und es ist sehr schwer, nur Teile des Speichers zu beladen oder zu entladen. Hierzu ist eine vielfache, bei Unterdruck gasdichte Unterteilung des Speichers nötig, was den technischen Aufwand weiter erhöht. Bei dem Wanderbettreaktor hingegen kann problemlos nur so viel Zeolith durch den Reaktor geführt werden, wie gerade Wärme, z.B. von einem Solar Kollektor, für dessen Trocknung zur Verfügung steht. Ebenso kann bei Wärmebedarf nur so viel trockenes Zeolith befeuchtet werden, wie Wärme benötigt wird. Die Leistung und Kapazität sind, anders als bei den geschlossenen Systemen, bei dem Wanderbettreaktor voneinander unabhängige Größen.

Fazit

Sorptionsprozesse sind Tausend-sassas. Sie können Stoffe tren-

nen bzw. reinigen und trocknen, kühlen, erhitzen und Energie speichern. Vieles davon kann parallel erfolgen und es werden häufig mehrere Funktionen parallel genutzt. Auf Grund der Vielseitigkeit sind Sorptionsprozesse auf dem Vormarsch. Da sie jedoch, selbst für Ingenieure und Chemiker, recht abstrakt und bezüglich der Auslegung wenig zugänglich sind, werden sie derzeit noch weniger genutzt, als es sinnvoll wäre.

Zugehörigkeiten
¹Hochschule Luzern - Technik & Architektur, Horw, Schweiz

KONTAKT |
 Prof. Dr. Mirko Kleingries
 Dozent/Leiter Forschungsgruppe
 SORPTION
 Hochschule Luzern -
 Technik & Architektur
 Horw, Schweiz
 mirko.kleingries@hslu.ch
 www.hslu.ch/sorption