

# Grundlagen der Adsorption

## Teil 1: Definitionen, Adsorptionsprozess

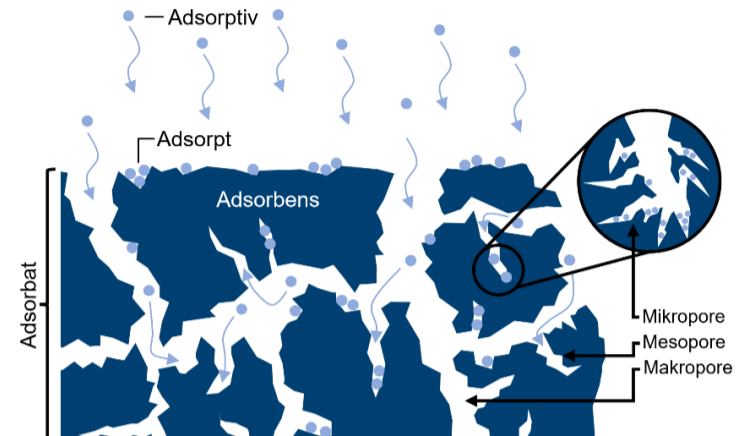
T. Loeck & L. Michalak | Rinke GmbH



RINKE

### Adsorption

Die Adsorption ist ein Prozess, in dem sich aus einer fluiden Phase Moleküle an einer Phasengrenze absetzen. Der gegenteilige Fall wird Desorption bezeichnet. Die Phasengrenze ist in der Regel eine hochporöse Oberfläche eines festen Körpers. Die Stoffe, die aus der gasförmigen oder flüssigen Phase adsorbiert werden (Adsorptiv), gehen eine Bindung mit der Oberfläche des Adsorbens ein (Adsorbat), welche mit Arbeit bzw. Energie verbunden ist, wobei immer eine Änderung der Konzentration an der Phasengrenze stattfindet. Durch diese Energieumsätze entsteht ein Gleichgewicht zwischen Adsorbens und Adsorptiv. Dieses Gleichgewicht wird durch thermodynamische Gesetzmäßigkeiten der Mehrkomponentensysteme erstellt, weshalb die Adsorption als „thermisches Verfahren“ bezeichnet werden kann. Durch die Erhöhung der inneren Energie, die durch das Adsorptiv zugeführt wird, kann die Bindungsenergie aufgebracht werden, um das Adsorbat anzureichern. Die beschriebenen Bindungsenergien können rein physikalisch oder chemisch auftreten.

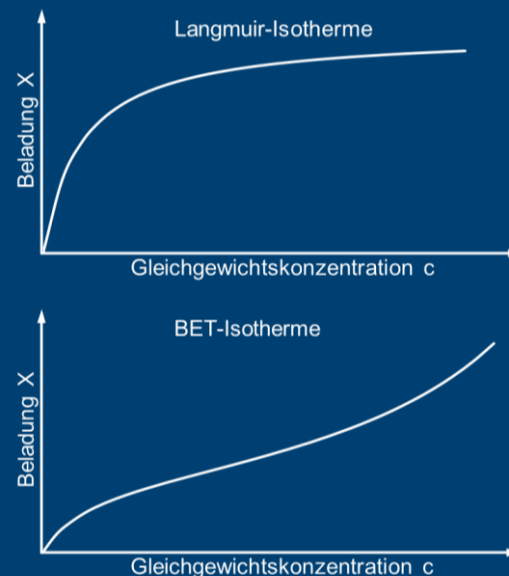


Grundbegriffe der Adsorption

### Adsorptionsisotherme

Das Adsorbens hat eine begrenzte Kapazität Stoffe anzureichern, weswegen Messungen durchgeführt werden müssen, um bei vorgegebenen Bedingungen die maximal erreichbare Beladung zu ermitteln (bis der Gleichgewichtszustand erreicht ist). Die Ergebnisse werden in Adsorptionsisothermen abgebildet, die als Funktion der Konzentration  $c$  oder des Partialdrucks  $p_i$  im Trägergas dargestellt werden können. Je nach Adsorbens und Adsorptiv variieren die Adsorptionsisothermen zum Teil sehr stark. So sind nach IUPAC sechs verschiedene Adsorptionsisothermentypen definiert. Die Adsorptionskapazität steigt mit folgenden Eigenschaften:

- Steigende Zahl der funktionellen Gruppen
- Steigendes Molekulgewicht
- Steigende Polarisierbarkeit des Moleküls



Beispiele für Adsorptionsisothermentypen

### Adsorptionsprozess

Der Adsorptionsprozess hängt im Wesentlichen von der Überströmung der festen Phase, der Moleküle, der Temperatur, dem Druck, der Konzentration der Stoffe sowie dem Aufbau des Adsorbens ab. Durch die Kinetik innerhalb des Adsorbens bewegen sich die anzulagernden Substanzen an die freien Adsorptionsplätze und werden durch zwischenmolekulare Kräfte oder chemische Reaktionen an der Oberfläche gebunden.

Für die Berechnung des Adsorptionsprozesses gibt es verschiedene Ansätze: von Gleichgewichtsmodellen, über Zellenmodelle bis hin zu kinetischen Modellen. Jede Variante bietet Vor- und Nachteile. In der Genauigkeit stimmen kinetische Modelle mit der Realität am ehesten überein, sind jedoch rechenintensiv.

Bei der Modellbildung der Gasphasenadsorption werden folgende Grundgleichungen benötigt:

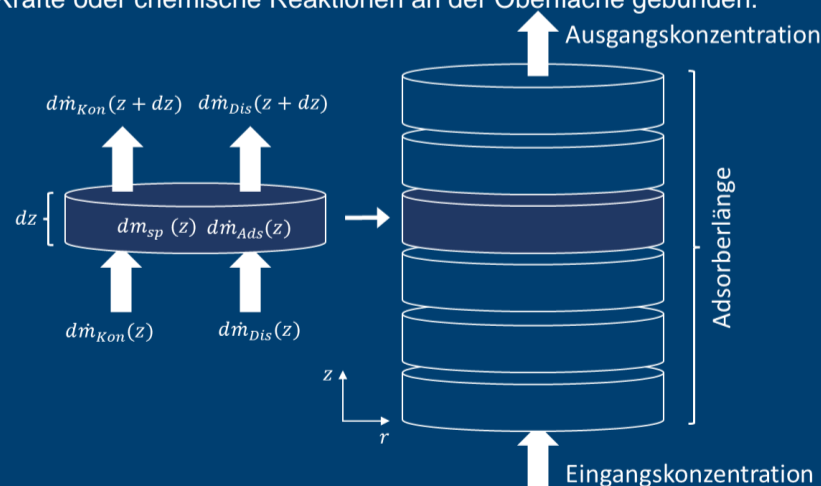
- Massenbilanz der festen Phase

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{k_{eff} A_{sp}}{\rho_s} (X_{Gl} - X)$$

- Massenbilanz der fluiden Phase

$$\frac{\partial c_A}{\partial t} = \underbrace{D_{ax} \frac{\partial^2 c_A}{\partial z^2}}_{\text{Dispersionsterm}} - \underbrace{\frac{V_G}{A \varepsilon_L} \frac{\partial c_A}{\partial z}}_{\text{Konvektionsterm}} - \underbrace{\frac{c_A}{A \varepsilon_L} \frac{\partial V_G}{\partial z}}_{\text{Adsorptionsterm}} - \frac{k_{eff} A_{sp} (1 - \varepsilon_L)}{\varepsilon_L} (X_{Gl} - X)$$

Neben den Massenbilanzen können die Energiebilanzen ebenfalls bestimmt werden, sofern kein isothermer Prozess stattfindet.



Modellbildung der Massenbilanz der fluiden Phase

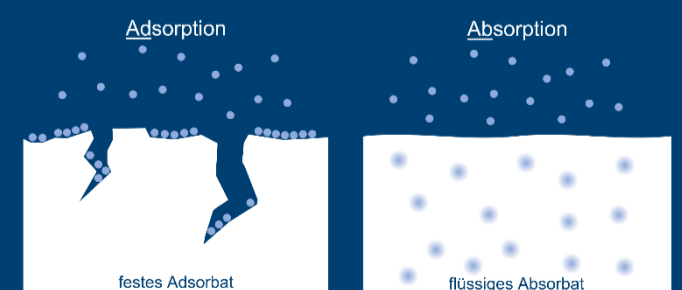
### Adsorptive

Für die Adsorptionskapazität – die Fähigkeit, wie viel vom Adsorptiv das Adsorbens aufnehmen kann – sind neben der Form der chemischen Moleküle (Raumvolumen) die chemischen funktionellen Gruppen verantwortlich. So werden die wichtigsten Stoffgruppen im Lackierbetrieb nachfolgend erwähnt:

- Aliphatische Kohlenwasserstoffe
- Aromatische Verbindungen
- Halogenierte Kohlenwasserstoffe
- Ketone, Acetate
- Carbonsäuren
- Aldehyde
- Ester
- Alkohole
- Carbonat

### Adsorption / Absorption

Neben der Adsorption gibt es andere Sorptionseffekte. Ein weiteres bekanntes Verfahren ist die Absorption. Im Gegensatz zur Adsorption werden die Partikel aus der Umgebung nicht an die Oberfläche gebunden, sondern in den Körper oder das Fluid direkt aufgenommen. Dieser Prozess ist ebenfalls abhängig von der Höhe der Konzentration in der Umgebung. Die Dauer zum Erreichen eines Gleichgewichtszustandes hängt stark von den Adsorptiven und dem Adsorbens ab – also der Trägermasse mit den umliegenden Stoffen. In der kommenden Abbildung wird der Unterschied zwischen den beiden Sorptionseffekten deutlich: Anwendung findet die Absorption zum Beispiel in Gaswäschern.



Unterscheidung zwischen Adsorption und Absorption