

1 Kontaminationen und ihre Eigenschaften

1.1 Das Verhalten von Kontaminationen

Unter einer Kontamination wird allgemein die Verunreinigung einer Substanz mit einer anderen verstanden. Das muss nicht immer ein Nachteil sein. So führt die gezielte Kontamination von Eisen mit anderen Elementen, wie Kohlenstoff, Nickel, Mangan usw., zu den Stählen. Auch die Halbleitertechnik wäre ohne die gezielte Kontamination von Silizium mit anderen chemischen Elementen nicht denkbar.

Die vfdb-Richtlinie 10/04 »Dekontamination bei Einsätzen mit ABC-Gefahren« definiert eine Kontamination als »die Verunreinigung der Oberfläche von Lebewesen, des Bodens und/oder von Gegenständen mit radioaktiven, biologischen oder chemischen Gefahrstoffen, sowie mit ABC-Gefahrstoffen verunreinigte Flüssigkeiten«. Darunter fallen radioaktive Strahlenquellen, Krankheitserreger und deren Überträger, Toxine, Industriechemikalien und chemische Kampfstoffe. Die Freisetzung von Gefahrstoffen erfolgt in der Regel aufgrund eines Schadens an einer industriellen Anlage, durch Transportunfälle oder die unsachgemäße Anwendung. Die geänderten sicherheitspolitischen Rahmenbedingungen der Bundesrepublik Deutschland erfordert es aber auch, eine geplante Freisetzung, z. B. im Rahmen eines terroristischen Anschlags, als mögliche Ursache einer Gefährdung in Betracht zu ziehen. Ferner kön-

nen industrielle und militärische Altlasten Kontaminationen hervorrufen.

Die Kontamination kann eine Gefahrenquelle darstellen und zu einer Verschleppung der Gefahrstoffe auch außerhalb des ursprünglich betroffenen Bereichs führen. Neben einer primären Gefährdung durch den direkten Kontakt der Körperoberfläche mit dem austretenden Gefahrstoff entsteht so eine sekundäre Gefährdung über die durch ihn kontaminierten Oberflächen. Deshalb sind erkannte Kontaminationen zu entfernen. Wo das nicht möglich ist, müssen sie abgedeckt oder gekennzeichnet werden. Dekontaminationsmaßnahmen haben das Ziel, diese sekundäre Gefährdung zu beseitigen oder zumindest zu minimieren.

Die Freisetzung von Gefahrstoffen ist als Feststoff in Form von Stäuben, als Flüssigkeit, Gas oder Aerosole möglich. Diese können sich nach ihrer Freisetzung auf Oberflächen niederschlagen und dort als Kontamination anhaften. Bei Kontakt mit einer Oberfläche kommt es zu Wechselwirkungen zwischen dem Gefahrstoff und dem kontaminierten Stoff. Die Wechselwirkungen sind abhängig von der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der beteiligten Stoffe, wie Aggregatzustände, Temperatur und dem Vorhandensein reaktiver Bestandteile in einem der beiden Partner.

1.2 Wechselwirkungen zwischen Kontamination und Oberfläche

Nach dem Niederschlag von Stoffen auf eine Oberfläche kommt es zur Adhäsion an diese. Die Adhäsion beschreibt die

Anlagerung einer Substanz auf einer Oberfläche anhand physikalischer Effekte (Physisorption). Diese »Bindungen« kommen nur durch schwache Bindungskräfte, z. B. durch Ladungsverschiebungen zustande und führen nur zu einer sehr lockeren Anhaftung auf dem Oberflächenmaterial. Treten nach einer Kontamination allein Adhäsionskräfte auf, so lässt sich der Schadstoff problemlos entfernen.

Können die Schadstoffe dagegen mit dem kontaminierten Material Wechselwirkungen eingehen, sind Reaktionen der beiden Substanzen möglich. In diesem Fall kann sich der Gefahrstoff mit der Oberfläche verbinden oder abhängig von deren Beschaffenheit und Material in sie eindringen. Werden dessen Moleküle bzw. Atome auf der Oberfläche chemisch gebunden, liegt eine Adsorption vor, dringt die Substanz in die Oberfläche ein, spricht man von Absorption (Bild 1).

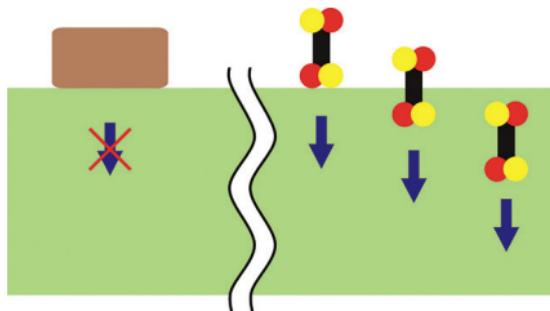


Bild 1: Adsorption eines Stoffes an einer Materialoberfläche (links) und Absorption (rechts) in das kontaminierte Material, z. B. einer Lackschicht

Im Verlauf der Adsorption entstehen chemische Bindungen an der Oberfläche. Das klassische Beispiel ist das Einwirken von Sauerstoff auf Metalle, in dessen Verlauf Oxide entstehen. Dieser Vorgang wird als Chemisorption bezeichnet. Auch der Ionenaustausch stellt eine Adsorption dar. Dabei werden elektrisch geladene Atome (Ionen) zwischen Kontamination und Oberfläche ausgetauscht. Dieser Prozess basiert auf dem Platzwechsel von Ionen der Kontamination mit auf der Oberfläche befindlichen, elektrisch geladenen Teilchen, welche dann in Lösung gehen. Voraussetzungen sind ähnliche Größen- und Ladungsverhältnisse von Ionen der Kontamination und den auf der Oberfläche befindlichen Ionen.

Die Absorption durch das Eindringen eines Stoffes in eine Oberfläche vollzieht sich durch Penetration und Permeation. Die Penetration bezeichnet das Hineinwandern von Teilchen in einen Stoff entlang von Kanälen und Hohlräume, die schadens- aber auch herstellungsbedingt im Material vorhanden sein können. Die Permeation vollzieht sich als Lösungsprozess, in dessen Verlauf der Schadstoff in das Material der Oberfläche eindringt. Nachdem ein Teilchen durch Lösungsprozesse in die Oberfläche gelangt ist, kann es durch Diffusion (ungerichtete Teilchenbewegung) von der Oberfläche in tiefere Schichten des kontaminierten Materials wandern.

Da die Wanderung ungerichtet verläuft, kommt es dazu, dass bereits tiefer in das Material eingedrungene Schadstoffteilchen aus diesem wieder an die Oberfläche zurückwandern und an die Umgebung abgegeben (desorbiert) werden. Diese Abgabe an die Umgebungsatmosphäre erfolgt auch dann noch, nachdem die Oberflächenkontamination bereits entfernt wurde. Da jetzt kein Gefahrstoff mehr von außen in das

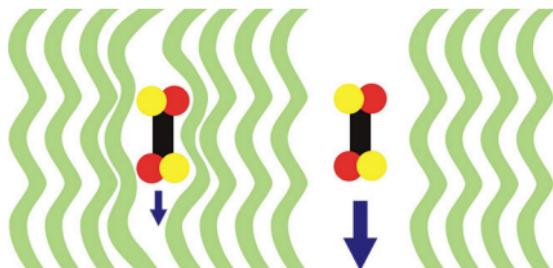


Bild 2: *Eindringen von Lösungsmittelteilchen in einen Kunststoff aufgrund Permeation durch das Lösen in diesem (links) und Penetration durch Wandern entlang eines Hohlraums im Material (rechts)*

Material eindringt, verringern die Desorptionsvorgänge die Konzentration der darin befindlichen Schadstoffteilchen. Die der Grenzfläche nächste Materialschicht hat die Masse des Gefahrstoffs aufgenommen. Statistisch gesehen können deshalb zuerst die in oberflächennahen Schichten befindlichen Schadstoffteilchen wieder an die Oberfläche gelangen. Tiefer eingedrungene Teilchen müssen einen entsprechend längeren Weg bis zur Oberfläche zurücklegen und werden deshalb erst später desorbiert. Der zeitliche Verlauf der Desorption und die daraus resultierende Gefahr, desorbierte Stoffe einzutauen (Inhalationsrisiko), sind abhängig von der Wechselwirkung des Schadstoffs mit dem Oberflächenmaterial.

1.3 Der Einfluss des Aggregatzustands einer Kontamination

Schadstoffe können fest, flüssig oder gasförmig auftreten. Ihr Aggregatzustand ist wesentlich für das Verhalten einer Kontamination.

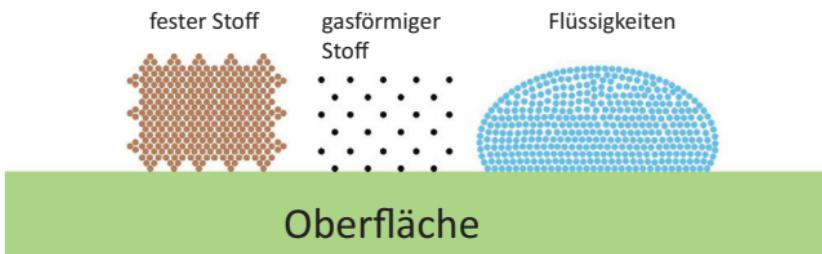


Bild 3: Kontamination einer Oberfläche durch feste Stoffe, gasförmige Stoffe und Flüssigkeiten

Kontamination durch Feststoffe

Mit einer Absorption oder Adsorption an Oberflächen ist bei einer Kontamination durch Feststoffe unter den im Feuerwehreinsatz herrschenden Bedingungen kaum zu rechnen. Dazu verlaufen Festphasenreaktionen unter Umweltbedingungen zu langsam. Das hängt unter anderem damit zusammen, dass Feststoff-Teilchen ihre Oberfläche nicht verändern können und dadurch zwischen einem Feststoff-Partikel und der kontaminierten Oberfläche nur eine relativ kleine Kontaktfläche besteht. Aufgrund der kleinen Grenzfläche kommt es kaum zu Teilchenwanderungen zwischen den Substanzen. Deshalb

lassen sich feste, staubförmige Feststoffkonzentrationen zu- meist leicht entfernen.

Kontamination durch Gase und Dämpfe

Gase können Materialien korrodieren und aufgrund ihrer ge- ringen Größe schnell in poröse Oberflächen eindiffundieren. Sie führen aber nur in wenigen Fällen zu einer Oberflächen- kontamination, die eine Gefährdung darstellen kann. Das hängt damit zusammen, dass die Stoffkonzentration in Gasen weit geringer ist als in Flüssigkeiten gleichen Volumens. Folgendes Beispiel macht dies deutlich: Ein Liter Wasser ergibt 1 700 Liter Wasserdampf. Umgekehrt enthält ein Liter Was- serdampf nur 1/1700 der Teilchen, die in einem Liter Wasser im flüssigen Aggregatzustand vorhanden sind.

Kontamination durch flüssige Gefahrstoffe

Flüssigkeiten können mit Oberflächen aufgrund ihrer variablen Oberfläche in engen Kontakt treten. Dadurch wird es Schad- stoffteilchen erleichtert, die Phasengrenze zwischen der Flüs- sigkeit und der Materialoberfläche zu überwinden und mit dieser in Wechselwirkung zu treten. Die Benetzung ist we- sentlich von der Oberflächenspannung der jeweiligen Flüssig- keit abhängig. Dieser Effekt lässt sich an einem Wassertropfen auf einer Lackschicht verdeutlichen. Stark polare Flüssigkeiten, wie Wasser, haben eine hohe Oberflächenspannung. Wasser zieht sich deshalb zu einem Tropfen zusammen und perlt ab. Benzin hat eine geringere Oberflächenspannung und ist in der Lage, die Lackschicht zu benetzen. Die Oberflächenspannung hängt mit der Polarität der Flüssigkeitsteilchen zusammen. Polare Flüssigkeiten lassen sich untereinander gut mischen

(z. B. Wasser und Ethanol) und lösen polare Feststoffe (z. B. Salze) zumeist gut. Polare Stoffe werden deshalb als hydrophil (wasserfreundlich) bezeichnet. Unpolare Flüssigkeiten (Benzin) lassen sich untereinander gut, mit polaren Flüssigkeiten jedoch nur schlecht mischen. Unpolare Feststoffe wie Wachse und Fette werden von unpolaren Flüssigkeiten gut, von polaren Flüssigkeiten aber nur schlecht gelöst. Sie werden deshalb als lipophil (fettfreundlich) bzw. hydrophob (wasserfeindlich) bezeichnet.

Wesentlich für das Verhalten einer Flüssigkeit unter Umweltbedingungen ist ihr Siedepunkt. Flüssige Substanzen werden in Niedrigsieder und Höhersieder (Siedepunkt unter bzw. über 65 °C) eingeteilt. Da Flüssigkeiten mit einem niedrigen Siedepunkt rasch verdunsten, kontaminieren sie Oberflächen nur kurzzeitig, können aber schnell schädliche Konzentrationen in der Umgebungsatmosphäre erreichen.

In Flüssigkeiten können gasförmige und feste Schadstoffe gelöst sein.

Kontamination durch Aerosole

Aerosole nehmen eine Zwischenstellung im System der Aggregatzustände ein. Es handelt sich bei ihnen um fein verteilte kleinste Feststoffteilchen (Rauch) oder Flüssigkeitstropfen (Nebel) in einem Gas. Die Aerosole bewegen sich ungerichtet. Dieses Verhalten kann gut an der Bewegung von Staubteilchen in einem Sonnenstrahl beobachtet werden. Das Absetzen von Aerosolen auf Oberflächen erfolgt durch Sedimentation aufgrund der Schwerkraft. Schwerere Partikel scheiden sich in kurzer Zeit aus der Gasphase ab und können sich als feiner

1.4 Einflüsse der kontaminierten Oberfläche

Staub oder Tau auf einer Oberfläche niederschlagen. Nach dem Absetzen verhalten sie sich vergleichbar einer Kontamination durch Feststoffe bzw. Flüssigkeiten.

1.4 Einflüsse der kontaminierten Oberfläche

Für das Verhalten einer Kontamination ist, neben den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Gefahrstoffs, die Beschaffenheit der von ihm kontaminierten Oberfläche von wesentlicher Bedeutung. Dichte glatte Materialien vermögen dem Eindringen von Stoffen besser zu widerstehen als poröse. Diese verfügen über eine vielfach größere Oberfläche, über die Stoffe aufgenommen werden können. Hinzu kommen Kapillareffekte an der Grenzfläche. Schadstoffe können daher in Glas und Metalle kaum, in Holz und Mauerwerk gut eindringen. Polyurethanlacke oder einbrenngetrocknete Alkydharzlacke setzen dem Eindringen chemischer Substanzen mehr Widerstand entgegen als luftgetrocknete Alkydharzanstriche.

Während der Diffusion eines Schadstoff-Moleküls in Kunststoffen und Lacken können Wechselwirkungen mit dem Polymermaterial, aber auch mit darin enthaltenen Weichmachern und Farbpigmenten auftreten. Diese Reaktionen führen häufig zu Veränderungen der Materialeigenschaften von Werkstoffen wie Verfärbung, Versprödung, Quellung oder Ablösungen.

Kann nach der Grobreinigung von Schutzbekleidung davon ausgegangen werden, dass anhaftende Kontaminationen entfernt wurden, so ist aber in Betracht zu ziehen, dass das Be-

kleidungsmaterial noch darin eingedrungene Schadstoffe enthält. Da die Diffusion der in das Material eingedrungenen Schadstoffteilchen ungerichtet verläuft, können sie aus dem Polymermaterial zurück an die Oberfläche wandern und dort in die Gasphase überreten. Da sich die Teilchen mit zunehmender Temperatur schneller bewegen, ist davon auszugehen, dass diese im Anzugstoff »gelösten« Teilchen das Anzugmaterial schneller verlassen, wenn es erwärmt wird. Dieser Sachverhalt wird für die Dekontamination genutzt. Bei Erwärmung treten über der Lack- oder Anzugoberfläche aber auch höhere Schadstoffkonzentrationen auf. Auch ist zu beachten, dass der Schadstoff nach der Wanderung durch den Schutzstoff auch im Anzuginneren eines CSA freigesetzt werden kann.

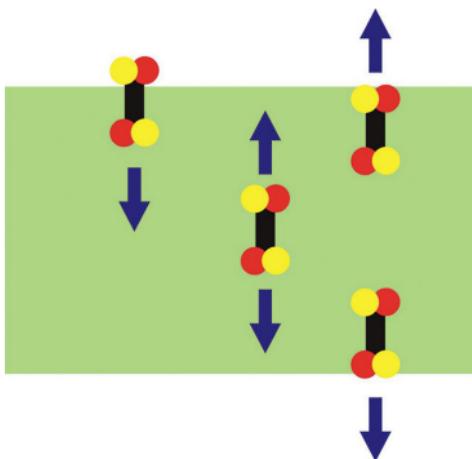


Bild 4: *Wanderungsmöglichkeiten eines Gefahrstoff-Moleküls im Material eines Chemikalienschutanzugs und Desorption an den Oberflächen*