
Informationen und Empfehlungen für Ärzte in Krankenhäusern

- Eine Gefahr durch Kontakt mit Patienten, die nur gegenüber Schwefelwasserstoffgas exponiert waren, besteht nicht. Ein Patient, der selbst oder dessen Kleidung mit flüssigem Schwefelwasserstoff (Siedepunkt -60°C) benetzt ist, kann andere Personen durch direkten Kontakt oder durch ausgasenden Schwefelwasserstoff gefährden.
 - Schwefelwasserstoff wirkt reizend auf die feuchte Haut, die Augen und die oberen Atemwege und führt zu Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel, Schwächegefühl, Blutdruckabfall und Verwirrtheit. Bronchospasmus und Zeichen eines Lungenödems (Atemnot, Zyanose, Auswurf und Husten), Bewusstlosigkeit und Atemstillstand können auftreten. Charakteristisch ist ein plötzlicher Kollaps mit Bewusstlosigkeit bei hohen Konzentrationen.
 - Die vordringliche Maßnahme bei einer stattgefundenen oder vermuteten Schwefelwasserstoffvergiftung ist die Beatmung und Gabe von Sauerstoff. Unmittelbar nach der Exposition kann die Gabe von Cyanid-Antidota (aber nicht Thiosulfat) erwogen werden, bei schon einsetzendem Lungenödem kann sich dadurch der Zustand des Patienten aber auch verschlechtern.
-

1. Informationen zur Substanz

Schwefelwasserstoff (H₂S), CAS 7783-06-4

Synonyme: Wasserstoffsulfid

Schwefelwasserstoff ist bei Raumtemperatur ein farbloses, farbloses, brennbares und leicht entzündbares Gas mit einem Geruch nach fauligen Eiern, unter Druck oder bei Temperaturen unter -60°C eine klare, farblose Flüssigkeit. Es ist nur mäßig wasserlöslich. Schwefelwasserstoff wird in der Landwirtschaft (als Desinfektionsmittel), Brauereiindustrie, Ledergerbung, Klebstoffherstellung, Gummivulkanisation, Metallrückgewinnung, Öl- und Gasförderung und Verarbeitung, Kunstfaserherstellung, Druckindustrie, Fellverarbeitung, Düngemittelherstellung, Zuckerindustrie, Farbenherstellung und analytischen Chemie eingesetzt.

2. Exposition

Einatmen

Die Exposition gegenüber Schwefelwasserstoff erfolgt im Wesentlichen durch Einatmen. Der Geruch von Schwefelwasserstoff und die reizende Wirkung haben einen deutlichen Warneffekt, bieten aber keinen ausreichenden Schutz vor schädlichen Konzentrationen. Die chronische Einwirkung niedriger Konzentrationen kann zum Abstumpfen der Geruchswahrnehmung und der Reizeffekte führen. Da Schwefelwasserstoff schwerer als Luft ist, besteht in schlecht gelüfteten, niedrig liegenden oder geschlossenen Räumen Erstickungsgefahr.

Haut-/Augenkontakt

Die Einwirkung von flüssigem Schwefelwasserstoff oder Gas auf nasse oder feuchte Haut bzw. Augen führt zu Reizungen.

Verschlucken

Ein Verschlucken von Schwefelwasserstoff ist unwahrscheinlich, da es bei Raumtemperatur ein Gas ist.

3. Akute gesundheitliche Übelkeit, Wirkungen

Schwefelwasserstoffgas verursacht Kopfschmerzen, Schwindel, Schwächegefühl, Verwirrtheit, Blutdruckabfall und Atemwegsreizungen. Die Atembeschwerden können mit der Zeit zunehmen. Schwefelwasserstoff kann zu Bewusstlosigkeit und Versagen der Atmung und des Herz-

Kreislauf-Systeme führen. Charakteristisch ist ein plötzlicher Kollaps mit Bewusstlosigkeit bei hohen

Konzentrationen. Danach können die betroffenen Personen eine Zeitlang agitiert und verwirrt sein.

Hautkontakt

Die Einwirkung von hohen Schwefelwasserstoffgaskonzentrationen auf nasse oder feuchte Haut kann zu Reizungen führen. Die Einwirkung von unter Druck stehendem, flüssigem Schwefelwasserstoff kann Erfrierungen bewirken.

Augenkontakt

Niedrige Gaskonzentrationen können zu Augenreizungen mit Brennen, Rötung, Tränenfluss und Lidschluss führen. Kontakt mit flüssigem Schwefelwasserstoff kann in einer Trübung der Augenoberfläche und einer späteren dauernden Schädigung des Auges resultieren.

Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Die Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind wie folgt:

<u>Schwefelwasserstoffkonzentration</u>	<u>Wirkung/Effekt</u>
0,02-0,2 ppm	- Geruchswahrnehmung (Toleranzentwicklung)
50-150 ppm	- Augen- und Atemwegsreizung, Lähmung der Geruchswahrnehmung
200-500 ppm	- Bronchitis, Kopfschmerzen, Schwindel, Schwäche
500-1000 ppm	- Lungenödem, Atemdepression, Bewusstlosigkeit
1000-1500 ppm innerhalb	- plötzliche Bewusstlosigkeit, Kollaps, Atemstillstand, tödlich
1800-5000 ppm	- weniger Minuten unmittelbar tödlich

Mögliche Folgen

Wenn der Patient die ersten 48 Stunden nach der Exposition überlebt hat, ist eine weitere Besserung der Symptomatik zu erwarten. Nach der akuten Einwirkung normalisiert sich die Lungenfunktion gewöhnlich in 7 bis 14 Tagen. Üblicherweise kommt es zu einer vollständigen Wiederherstellung. Eine Hyperreagibilität gegenüber reizenden Stoffen kann persistieren und Bronchospasmen oder eine chronische Bronchitis hervorrufen. Ein solches "reactive airways dysfunction syndrome" besteht eventuell über mehrere Jahre fort. Eine Zerstörung von Lungengewebe oder Narbenbildung kann zu einer chronischen Dilatation von Bronchien und zu einer erhöhten Suszeptibilität gegenüber Infektionen führen. Auf der Grundlage einer Sauerstoffminderversorgung bei respiratorischer Insuffizienz kann es zu bleibenden neurologischen Störungen kommen.

4. Maßnahmen

Selbstschutz

Eine Gefahr durch Kontakt mit Patienten, die nur gegenüber Schwefelwasserstoffgas exponiert waren, besteht nicht. Ein Patient, der selbst oder dessen Kleidung mit flüssigem Schwefelwasserstoff in Berührung kam, kann andere Personen durch direkten Kontakt oder durch ausgasenden Schwefelwasserstoff gefährden.

Reinigung

Patienten, die nur gegenüber Schwefelwasserstoffgas exponiert waren und keine Zeichen einer Haut- oder Augenreizung aufweisen, benötigen im Unterschied zu allen anderen keine speziellen Reinigungsmaßnahmen. Wenn möglich, sollten die Patienten bei ihrer eigenen Reinigung mithelfen. Kam es zu einer Einwirkung von flüssigem

Initiale Behandlung

Schwefelwasserstoff und ist die Kleidung verunreinigt, muss sie entfernt und zweifach eingepackt werden.

Sicherstellen, dass die Augen im Falle einer Schwefelwasserstoffexposition mit Wasser oder neutraler Kochsalzlösung über mindestens 15 Minuten gespült wurden. Vorhandene Kontaktlinsen - soweit ohne zusätzliche Gefahr fürs Auge möglich - entfernen. Andere wichtige Hilfsmaßnahmen währenddessen fortsetzen.

Sicherstellen, dass betroffene Haut- und Haarpartien mit Wasser über mindestens 15 Minuten gespült wurden. Andere wichtige Hilfsmaßnahmen währenddessen fortsetzen. Augen während des Spülens schützen.

Die vordringliche Maßnahme bei einer stattgefundenen oder vermuteten Schwefelwasserstoffvergiftung ist die Beatmung und Gabe von 100 % befeuchtetem Sauerstoff.

Bei allen bewusstlosen Patienten wird eine sofortige endotracheale Intubation unter Sedierung mit Benzodiazepin- und Morphinderivaten empfohlen. Unabhängig von dem Vorliegen einer Blutgasanalyse sollte die Beatmung mit einem FiO_2 von 1,0 (100 % Sauerstoff) begonnen werden. Sehr hohe PaO_2 bis zu 200 mmHg können über mehrere Stunden toleriert werden. Sauerstoff ist als das Antidot bei einer Schwefelwasserstoffvergiftung anzusehen. Unmittelbar nach der Exposition kann die Gabe von Cyanid-Antidota (aber nicht Thiosulfat) erwogen werden, bei schon einsetzendem Lungenödem kann sich dadurch der Zustand des Patienten aber auch verschlechtern, weil der Sauerstofftransport bei einer Methämoglobinämie verringert ist (*Antidote* siehe unten).

Die folgenden Maßnahmen werden empfohlen, falls die Schwefelwasserstoffgaskonzentration 50-150 ppm oder mehr beträgt (abhängig von der Dauer der Einwirkung), Symptome vorhanden sind (z.B. Reizungen der Augen oder der oberen Atemwege) oder falls keine Konzentration abgeschätzt werden kann, aber eine Exposition wahrscheinlich erfolgt ist:

- Sauerstoffgabe
- Verabreichung von 8 Sprühstößen Beclometason (800 µg Beclometasondipropionat) aus einem Dosieraerosol.

Bei Zeichen einer Verengung der Atemwege (z.B. Bronchospasmus oder Stridor)

- a) Vernebelung von Adrenalin (Epinephrin): 2 mg Adrenalin (2 ml) mit 3 ml NaCl 0,9% mischen und über eine Verneblermaske inhalieren lassen
- b) Gabe eines β_2 -selektiven Adrenozeptor-Agonisten, z.B. vier Hübe Terbutalin oder Salbutamol oder Fenoterol (ein Hub enthält üblicherweise 0,25mg Terbutalinsulfat; bzw. 0,1 mg Salbutamol; bzw. 0,2 mg Fenoterol); dies kann einmal nach 10 Minuten wiederholt werden.

Alternativ können 2,5 mg Salbutamol und 0,5 mg Ipratropiumbromid über eine Verneblermaske verabreicht werden.

Falls eine Inhalation nicht möglich ist, Gabe von Terbutalinsulfat (0,25 mg bis 0,5 mg) subkutan oder Salbutamol (0,2 mg bis 0,4 mg über 15 Minuten) intravenös.

- c) Intravenöse Gabe von 250 mg Methylprednisolon (oder einer äquivalenten Steroiddosis).

Bei Zeichen eines toxischen Lungenödems (z.B. schaumiger Auswurf, feuchte Rasselgeräusche)

- a) CPAP-Therapie

- b) Intravenöse Gabe von 1000 mg Methylprednisolon (oder einer äquivalenten Steroiddosis)

Bei (zunehmender) respiratorischer Insuffizienz erweitertes Atemwegsmanagement, z.B. endotracheale Intubation oder ggf. Koniotomie.

Anmerkung: Die Wirksamkeit der Gabe eines Corticosteroids ist bislang nicht in kontrollierten klinischen Studien nachgewiesen worden.

Durch Hautkontakt mit Schwefelwasserstoff können Reizungen hervorgerufen werden; diese sind wie Verbrennungen zu behandeln. Unter Druck stehendes flüssiges Schwefelwasserstoffgas kann zu Erfrierungen führen.

Die Exposition der Augen kann ebenfalls zu Reizungen führen; auch diese sind wie Verbrennungen zu behandeln. Augenarzt konsultieren.

Anmerkung: Jeder Kontakt mit flüssigem Schwefelwasserstoff im Gesichtsbereich kann ernste Folgen haben.

Antidot-Behandlung

Bewusstlose Patienten mit bekannter oder anzunehmender Schwefelwasserstoffvergiftung sollten unter ärztlicher Aufsicht mit Antidota wie folgt behandelt werden. Unmittelbar nach der Exposition kann die Gabe von Cyanid-Antidota (aber nicht Thiosulfat) erwogen werden. Bei schon einsetzendem Lungenödem kann sich dadurch der Zustand des Patienten aber auch verschlechtern, da die Methämoglobinämie die Sauerstofftransportkapazität verringert.

Anmerkung: Die Wirksamkeit von Cyanid-Antidota bei Schwefelwasserstoffvergiftungen ist bislang nicht in kontrollierten klinischen Studien nachgewiesen worden. Die Verfügbarkeit von Antidota kann je nach Land aufgrund gesetzlicher Bestimmungen oder Verordnungen variieren).

Wenn 4-Dimethylaminophenol (4-DMAP) zur Verfügung steht, sollte folgende Behandlung erfolgen: Sofort 4-DMAP intravenös injizieren, normalerweise 3-5 mg/kg Körpergewicht (d. h. 1 Ampulle mit 250 mg 4-DMAP beim Erwachsenen).

Wenn 4-Dimethylaminophenol (4-DMAP) nicht zur Verfügung steht, sollte sofort Natriumnitrit intravenös infundiert werden. Die übliche Erwachsenenendosis von 10-20 ml einer 3-prozentigen Lösung ist über einen Zeitraum von nicht weniger als 5 Minuten zu geben. Dabei muss der Blutdruck überwacht werden und die Infusionsgeschwindigkeit bei einem sich abzeichnenden Blutdruckabfall reduziert werden. **ACHTUNG! Bei einer Schwefelwasserstoffvergiftung darf kein Thiosulfat gegeben werden.**

Eine eventuell auftretende Methämoglobinämie sollte nur dann behandelt werden, wenn 4-DMAP überdosiert oder die Diagnose einer Schwefelwasserstoffvergiftung revidiert wurde.

Es ist aber darauf zu achten, dass Patienten ohne Bewusstseinsbeeinträchtigung weder 4-DMAP noch Natriumnitrit erhalten sollten.

Unter der Behandlung mit 4-DMAP oder Natriumnitrit sollte der Methämoglobinspiegel einen Wert von 30 bis 40 % nicht

*Weiteres Vorgehen und
Vitalfunktionen
Behandlung*

überschreiten, anämische Zustände ausgeschlossen.
Zyanosezeichen treten ab einem Methämoglobingehalt von ca. 15 % auf. Bei Überdosierung ist die Methämoglobinämie zu behandeln.

Nach Gabe von 4-DMAP oder Natriumnitrit sollte der Patient möglichst einem Krankenhaus mit Intensivtherapie-Möglichkeiten zugeführt werden.

Neben Anamnese, körperlicher Untersuchung und

sollten Pulsoximetrie, eine p.a. Thoraxröntgenaufnahme und eine

Spirometrie durchgeführt werden.

Radiologisch eindeutige Zeichen eines Lungenödems –

Vergrößerung der Hili, typische, zentral betonte, fleckförmige Verschattungen im Thoraxröntgenbild - **sind späte Zeichen, die erst 6 bis 8 Stunden oder noch später nach einer Exposition erkennbar sind. Das Röntgenbild ist typischerweise bei der Erstvorstellung im Krankenhaus auch nach Einatmen einer größeren Dosis normal.**

Patienten mit möglicher Exposition sollten über ein Minimum von 24 Stunden beobachtet und wiederholt nachuntersucht werden, bevor gesundheitliche Folgeschäden ausgeschlossen werden können.

Wenn die Sauerstoffsättigung unter 93 % fällt oder zu fallen droht, sind unverzüglich die arteriellen Blutgaskonzentrationen zu überprüfen und das Thoraxröntgen zu wiederholen.

Wenn die Blutgaskonzentrationen sich zu verschlechtern beginnen und/ oder die Thoraxröntgenaufnahme Zeichen eines toxischen Lungenödems zeigt, sollte Sauerstoff über eine Maske appliziert werden. Bei sich manifestierender Verschlechterung (insbesondere bei Tachypnoe (>30/min) und gleichzeitiger Abnahme des Kohlendioxidpartialdrucks) ist eine CPAP-Therapie innerhalb der ersten 24 Stunden nach Exposition zu beginnen.

Im Falle der Entwicklung eines Lungenödems sollten Flüssigkeitsaufnahme und -ausscheidung sowie Elektrolyte engmaschig kontrolliert werden. Eine positive Flüssigkeitsbilanz ist zu vermeiden. Zur Optimierung des Flüssigkeitsmanagements ist das Legen eines Zentralvenen- oder Swan-Ganz-Katheters in Betracht zu ziehen.

Solange Anzeichen eines Lungenödems persistieren, sollte die intravenöse Gabe von Methylprednisolon (oder eines äquivalenten Steroids) in Intervallen von 8 bis 12 Stunden fortgesetzt werden.

Eine prophylaktische Antibiotikagabe wird nicht routinemäßig befürwortet, kann aber auf der Basis der Ergebnisse von Sputumkulturen indiziert sein. Eine Pneumonie kann als Komplikation eines schweren Lungenödems auftreten. Bei agitierten und verwirrten Patienten kann eine Sedierung erforderlich werden.

*Entlassung des Patienten /
Anweisungen für das weitere
ausgesetzt*

*Verhalten
Untersuchungsbefunde
angemessener
Umständen*

Klinisch asymptomatische Patienten, die einer Konzentration von **weniger als 50 ppm** (abhängig von der Einwirkungsdauer)

waren, und Patienten, die unauffällige klinische und keinerlei Zeichen einer toxischen Wirkung nach Nachbeobachtungszeit zeigen, können unter folgenden aus dem Krankenhaus entlassen werden:

- a) Der behandelnde Arzt ist erfahren in der Beurteilung von Patienten mit Schwefelwasserstoffexposition.

- b) Informationen und Empfehlungen für Patienten mit Anweisungen für das weitere Verhalten wurden mündlich und schriftlich erteilt. Der Patient wurde aufgefordert, sich sofort in ärztliche Behandlung zu begeben, falls gesundheitliche Beschwerden auftreten.
- c) Der Arzt ist der Ansicht, dass der Patient die toxischen Wirkungen vom Schwefelwasserstoff kennt bzw. verstanden hat.
- d) Der weiterbehandelnde Arzt ist unterrichtet, so dass ein regelmäßiger Kontakt zwischen Patient und Arzt in den folgenden 24 Stunden möglich ist.
- e) Schwere körperliche Arbeit sollte in den folgenden 24 Stunden nicht erfolgen.
- f) Mindestens 72 Stunden nicht rauchen und Zigarettenrauch meiden; der Rauch kann die Lungenfunktion verschlechtern.

Patienten mit ernstesten Haut- oder Augenverletzungen sollten nach 24 Stunden erneut untersucht werden.
Die Spirometrie sollte nach der Entlassung in regelmäßigen Abständen wiederholt werden, bis die Werte auf die Ausgangswerte des Patienten zurückgegangen sind.

In diesem Dokument hat die BASF alle mögliche Sorgfalt aufgewandt, um die Richtigkeit und Aktualität der dargestellten Informationen sicherzustellen, beansprucht aber nicht, dass dieses Dokument umfassend alle diesbezüglich möglichen Situationen erfasst. Dieses Dokument ist als zusätzliche Informationsquelle für Ärzte im Krankenhaus konzipiert und soll bei der Beurteilung des Zustands und bei der Behandlung von Schwefelwasserstoff ausgesetzten Patienten Hilfe leisten. Es ersetzt aber nicht die professionelle Beurteilung der jeweiligen Situation durch die Ärzte im Krankenhaus und muss unter Berücksichtigung gesetzlicher Regelungen und Vorschriften sowie spezifischer, über den jeweiligen Patienten zur Verfügung stehender Informationen interpretiert werden.

BASF SE
Corporate Health Management
Carl-Bosch-Straße 38
67056 Ludwigshafen
Deutschland

BASF Corporation
Medical Department
100 Campus Drive, M/S F 221
Florham Park, NJ 07932
USA