

Sicherheitsaspekte zum Umgang mit Pulveraktivkohle (PAK) auf Kläranlagen

Das vorliegende Faktenblatt enthält eine Zusammenstellung von sicherheitstechnischen Aspekten im Umgang mit Aktivkohle auf Kläranlagen. Das Faktenblatt ist in folgende Bereiche unterteilt: (i) Allgemeines, (ii) Planung und Bau von Aktivkohle-Anlagen, und (iii) Betrieb von Aktivkohle-Anlagen. Die aufgeführten Informationen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

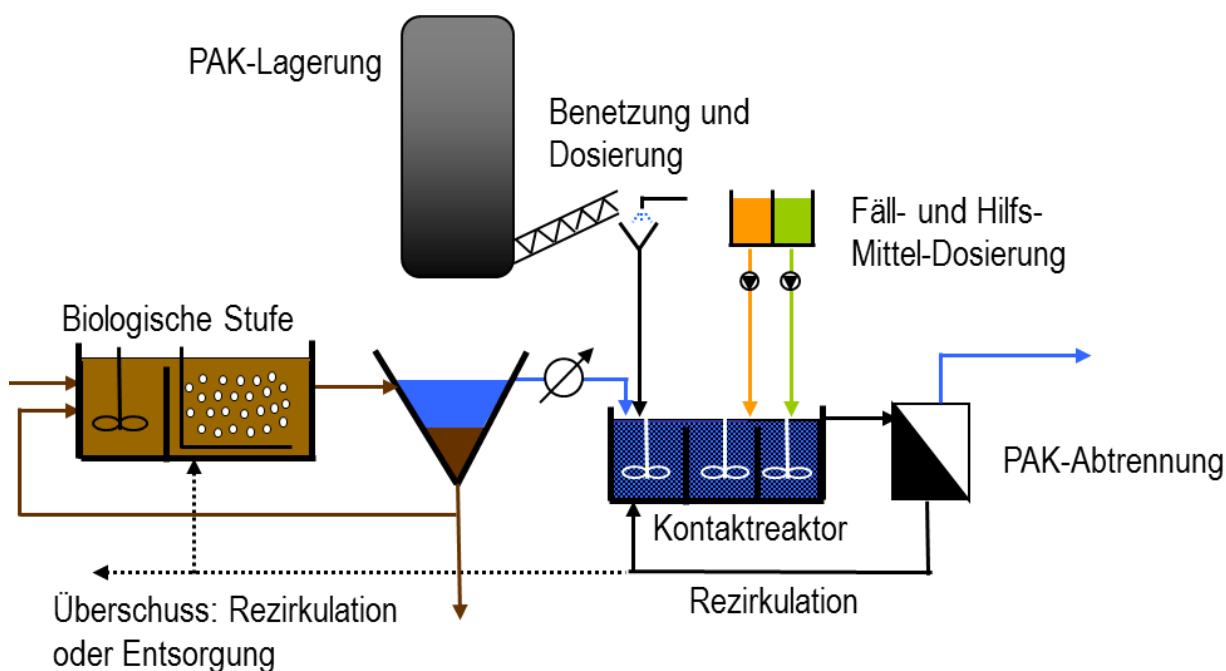
Wichtige Anlaufstellen sind: das kantonale Arbeitsinspektorat (auf www.arbeitsinspektorat.ch ist eine Übersicht über die kantonalen Stellen aufgelistet), die zuständigen Brandschutzexperten (siehe www.vkf.ch), sowie die SUVA (www.suva.ch).

Redaktion P. Wunderlin (VSA)
Erarbeitet durch J. Margot (RWB SA), D. Urfer (RWB SA) im Auftrag des VSA
Fachliche Begleitung Ch. Abegglen (VSA), D. Pfund (ERZ Zürich), D. Rensch (AWEL)

Allgemeines

Parameter **Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen**

Beispiel eines allgemeinen Schemas einer Anlage zur Adsorption von Mikroverunreinigungen durch Pulveraktivkohle (PAK) im Abwasser („Ulmer Verfahren“). Alternativ kann die PAK direkt in die biologische Reinigungsstufe oder auf den Sandfilter dosiert werden.




Quelle: Abegglen und Siegrist (2012)

<p>Allgemeine Aspekte</p>	<p>Pulveraktivkohle (PAK) wird durch die Pyrolyse von Steinkohle, Braunkohle, Anthrazit, Torf, Holz oder Kokosnussschalen gewonnen. Durch die thermische oder chemische Aktivierung wird die Porosität erhöht, was zu einer sehr hohen spezifischen Oberfläche (zwischen 500 und 1500 m²/g) führt. Auf diese Weisen werden die Adsorptionsprozesse begünstigt.</p> <p>Bei der PAK handelt es sich um ein geruchsneutrales, feines schwarzes Pulver, das folgendermassen charakterisiert werden kann:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffatomen ▪ Körnung zwischen 1-150 µm (d₅₀ bei zirka 10-30 µm) ▪ Schüttdichte zwischen 200-600 kg/m³ ▪ Feststoffdichte von ungefähr 2000 kg/m³. ▪ Ist nicht wasserlöslich ▪ Höhere Dichte als Wasser und neigt daher zur Sedimentation
<p>Gesundheitsrisiken</p>	<p>PAK an sich ist kein Gefahrenstoff. Die grösste Gefahr für die Gesundheit entsteht bei der Inhalation von PAK-Staub, der wie alle inerten Feinpartikel (Durchmesser < 10 µm) Atemwegsbeschwerden verursachen kann (Hustenreiz, Asthma, etc.).</p> <p>Wie alle Stäube kann PAK bei Haut- oder Augenkontakt leichte mechanische Reizungen hervorrufen (abrasive Wirkung).</p> <p>PAK ist nicht giftig, die adsorbierten Stoffe können es aber sein. Dies muss im Umgang mit gebrauchter PAK berücksichtigt werden. Da die PAK aber nach der Anwendung in feuchtem Zustand vorliegt, sind Staubemissionen eher als gering zu einzuschätzen.</p> <p>PAK kann – hauptsächlich in feuchtem Zustand - der Umgebungsluft Sauerstoff entziehen. Dies kann zu gefährlich niedrigen Sauerstoffkonzentrationen in geschlossenen Räumen führen. Geschlossene Becken, Silos, oder abgeschlossene Räume, welche Aktivkohle enthalten (haben), müssen daher vor Betreten gut belüftet werden. Bei Lagerorten mit ausreichend Luftaustausch (z.B. Big Bags) ist dieses Risiko sehr gering.</p>
<p>Höchstzulässige Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert)</p>	<p>Der MAK-Wert für PAK (Körnung zwischen 1-150 µm; siehe „Allgemeine Aspekte“), welche zu den inerten Stäuben zählt, liegt bei 10 mg/m³ für einatembare Stäube (<100 µm) und bei 3 mg/m³ für lungengängige Stäube (<10 µm). <i>Quelle: SUVA (2016).</i></p>
<p>Staubexplosionsrisiko</p>	<p>Wie alle brennbaren Stäube mit einem Durchmesser von <500 µm kann PAK bei Aufwirbelung in der Luft Staubexplosionen auslösen, wenn eine Zündquelle vorhanden ist.</p> <p>Beim Befüllen/Entleeren der Silos oder Big Bags, beim Benetzen von PAK oder bei Reinigungsarbeiten (Fegen, Einsatz</p>

	<p>von Druckluft) können Staubwolken entstehen, die eine explosionsfähige Atmosphäre (EX Zone) erzeugen.</p> <p>Wenn die Explosionsgrenze in der Luft erreicht ist (20 bis 60 gPAK/m³), kann die Wolke bei vorhandener Zündquelle (Temperaturen > 450-600 °C) explodieren.</p> <p>Für weitere Informationen siehe SUVA (2014).</p>
Brandrisiken	<p>Aktivkohle ist schwer entflammbar und neigt zu langsamer Verbrennung ohne Rauch- oder Flammenbildung. Allerdings können bei vorhandener Wärmequelle in den Lagersilos Schwelbrände entstehen. Bei der Verbrennung von PAK entsteht Kohlenmonoxid (CO), dessen Konzentration bis zur Explosionsgrenze ansteigen kann.</p> <p>Für weitere Informationen siehe SUVA (2014).</p>
Umweltrisiken	<p>Bei der Freisetzung von PAK in die Umwelt sind nach aktuellem Stand des Wissens keine Umweltschäden zu erwarten. Die an die PAK adsorbierten Stoffe jedoch können potentiell toxisch sein. Da PAK nicht löslich und schwer abbaubar ist, hat sie die Tendenz, sich in Sedimenten und Böden anzureichern. Eine Freisetzung ist deshalb zu vermeiden.</p>

Planung und Bau von Aktivkohle-Anlagen

Parameter	Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen
<p>Schutz gegen Staubexplosionen</p> 	<p>Explosionsgefährdende Bereiche müssen bestimmt und eingeteilt werden. Dazu zählen z.B. Bereiche zum Befüllen/Entleeren von Silos sowie das PAK-Benetzungssystem - Bereiche, in denen mit trockener PAK gearbeitet wird, und die PAK potentiell in die Umgebungsluft austreten kann. Für die Zoneinteilung wird auf die SUVA Publikation 2153 verwiesen.</p> <p>Massnahmen in EX-Zonen sind insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nur (elektronische oder nicht-elektronische) Geräte verwenden, die die Standards für den Einsatz in explosionsfähigen Atmosphären erfüllen. ▪ Vor Zündquellen schützen (siehe auch Schutz gegen Schwelbrände). Zündquellen sind insbesondere: offenes Feuer, heisse Oberflächen, Funken und Wärmebildung durch elektrische Geräte und Verbrennungsmotoren, Funken durch elektrostatische Entladung, mechanisch bedingte Funkenbildung und Wärmebildung, Blitzschlag und chemisch verursachte Wärmebildung. ▪ Organisatorische Massnahmen: Unterrichtung und Schulung der Mitarbeiter, Kennzeichnung von EX-Zonen, Sicherheitshinweise (Rauchverbot, Zugangsbeschränkung, Reinigungsprogramm, etc.), Kontrollen und Überwachung,

	<p>etc.</p> <p>Was die elektrostatische Aufladung angeht, so müssen alle leitfähigen Elemente in der EX-Zone angeschlossen und geerdet werden. Das Befüllen von Silos ist ein kritischer Prozess, da die Reibung der PAK an den Wänden der pneumatischen Transportsysteme zu starker elektrostatischer Aufladung führen kann. Es müssen leitfähige, geerdete Rohre verwendet werden. An der Entladestelle muss die Möglichkeit bestehen, das Lieferfahrzeug zu erden.</p> <p>Die Silos müssen mit Staubfiltern (Zyklonfilter, Schlauchfilter) mit ausreichend grosser Oberfläche versehen sein, damit die Luft beim pneumatischen Befüllen entweichen kann.</p> <p>Das Gebäude wird so gestaltet, dass die Bildung von Staubablagerungen möglichst gering ist: glatte und gut verfugte Böden und Wände, Beseitigung von Toträumen und Winkeln, Verringerung der Emissionspunkte, etc.</p>
<p>Schutz gegen Schwelbrände</p>	<p>Grundsätzlich müssen alle möglichen wirksamen Zündquellen vermieden werden, wie beispielsweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leitfähiges Verbinden des Lieferfahrzeugs mit der Anlage und Erdung während der Entladung der PAK. ▪ Verhindern, dass metallene Gegenstände durch die Rohrleitung gefördert werden und Funken schlagen können. ▪ Verhindern einer übermässigen Erwärmung der PAK durch die Förderluft des Ventilators auf dem Silofahrzeug. ▪ Schutz vor Blitzschlag. <p>Als weitergehende, von der SUVA nicht zwingend geforderte Massnahmen gelten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Installation eines Kohlenmonoxid (CO)-Melders in den Lagersilos zur frühzeitigen Erkennung von Schwelbränden. ▪ Installation einer Inertisierungsanlage, betrieben mit Stickstoff oder Kohlendioxid, zur Bekämpfung von Schwelbränden im Silo. Das Einleiten eines inerten Gases senkt die Sauerstoffkonzentration innerhalb des Silos. Die Inertisierungsanlage wird zur Vermeidung jeglicher Art von Explosionsrisiken eingesetzt.
<p>Schutz gegen Geräteabrieb und Ablagerungen in den Rohrleitungen</p>	<p>Um den mechanischen Abrieb von Geräten durch PAK (oder genauer von Kohle-Granulat/-Mikrogranulat) zu mindern, müssen abriebfeste Materialien (rostfreier Stahl, harte Kunststoffe) ausgewählt werden, besonders für das Dosierungssystem und Bereiche mit hohen Fließgeschwindigkeiten der PAK-Suspension.</p> <p>Um Ablagerungen und eine Härtung der PAK in den Dosierungsleitungen für die PAK-Suspension zu minimieren, wird eine Mindestgeschwindigkeit von 1.5-2 m/s empfohlen. Biegungen und Stillstandszonen (Sedimentierung der PAK) sind</p>

	zu vermeiden. Die Pumpen müssen mit einem System zur Reinigung mit Wasser ausgestattet sein, um die PAK zu entfernen, wenn sie nicht in Betrieb sind. Die Konzentration der PAK-Suspension darf nicht zu hoch sein (<5%, besser <1%).
Begrenzung des PAK-Verlusts im Kläranlagen Ablauf	Die Freisetzung von gebrauchter und mit Spurenstoffen beladener PAK in die Umwelt (Vorfluter) muss durch eine gute Abtrennung der PAK vom gereinigten Abwasser minimiert werden. Zur Detektion von PAK-Verlusten über den Ablauf wird der Einbau eines Trübungsmessgerätes am Auslauf des Filtrationssystems empfohlen. Eine neuartige Messmethode mittels Thermogravimetrie (Krahnstöver et al., 2016) erlaubt eine sehr präzise Quantifizierung der PAK-Konzentration im Kläranlagenablauf.

Betrieb von Aktivkohle-Anlagen

Parameter	Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen
Handhabung von PAK	<p>Zum Schutze der Mitarbeiter und zur Reduzierung von Explosionsrisiken muss die Aufwirbelung von Staubwolken vermieden werden.</p> <p>Um das Einatmen von Stäuben zu verhindern, wird beim Umgang mit PAK (Befüllen von Silos, Austausch von Big Bags, etc.) das Tragen einer Atemmaske für Mund und Nase (Typ FFP3) oder die Einrichtung einer Entlüftungsanlage empfohlen.</p> <p>Das Tragen von Schutzbrillen, Handschuhen und Schutzkleidung wird bei der Arbeit mit PAK ebenfalls empfohlen.</p> <p>Elektrostatische Aufladung muss vermieden werden. Vor jedem Transfervorgang müssen alle Geräte geerdet werden (siehe auch „Schutz gegen Explosionen“ und „Schutz gegen Schwelbrände“).</p> <p>Staubablagerungen müssen vermieden werden, da sonst die Explosionsrisiken zunehmen. Eine regelmässige Reinigung der Betriebsräume ist notwendig. Die Reinigung kann per Wasserstrahl oder Absaugen erfolgen. Trockenkehren oder die Verwendung von Druckluft sind nicht geeignet (Bildung von potentiell explosiven Staubwolken).</p>
Lagerung von PAK	PAK muss trocken gelagert werden, an einem kühlen und gut belüfteten Ort, abseits von Wärme- oder Zündquellen . Sie darf nicht zusammen mit stark brandfördernden Mitteln oder starken Oxidationsmitteln (Sauerstoff, Ozon, Chlor, etc.), starken Säuren und flüchtigen Chemikalien gelagert werden, da diese an der PAK adsorbieren könnten.

Referenzen

- Abegglen, C., Siegrist, H. (2012). *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S.* ([download](#))
- INERIS, ED 944, 2006. *Les mélanges explosifs. 2. Poussières combustibles.* ([download](#))
- INERIS, 2005. *Inertage.*
- Krahnstöver, T., Plattner, J., Wintgens, T. (2016). *Quantitative detection of powdered activated carbon in wastewater treatment plant effluent by thermogravimetric analysis (TGA).* *Water Research*, 101, 510-518.
- Suva (2016). *Grenzwerte am Arbeitsplatz, Kapitel „Inerte Stäube“, S. 27* (Bestellnummer: 1903). ([download](#))
- Suva (2014). *Explosionsschutz – Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen.* (Bestellnummer: 2153). ([download](#))
- Suva. *Checkliste Gesundheitsgefährdende Stäube* (Bestellnummer: 67077) ([download](#))