

Sicherheitsaspekte zum Umgang mit Ozon auf Kläranlagen

Das vorliegende Faktenblatt enthält eine Zusammenstellung von sicherheitstechnischen Aspekten im Umgang mit Ozon auf Kläranlagen. Das Faktenblatt ist in folgende Bereiche unterteilt: (i) Allgemeines, (ii) Planung und Bau von Ozonanlagen, (iii) Normalbetrieb von Ozonanlagen, und (iv) Störbetrieb von Ozonanlagen. 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

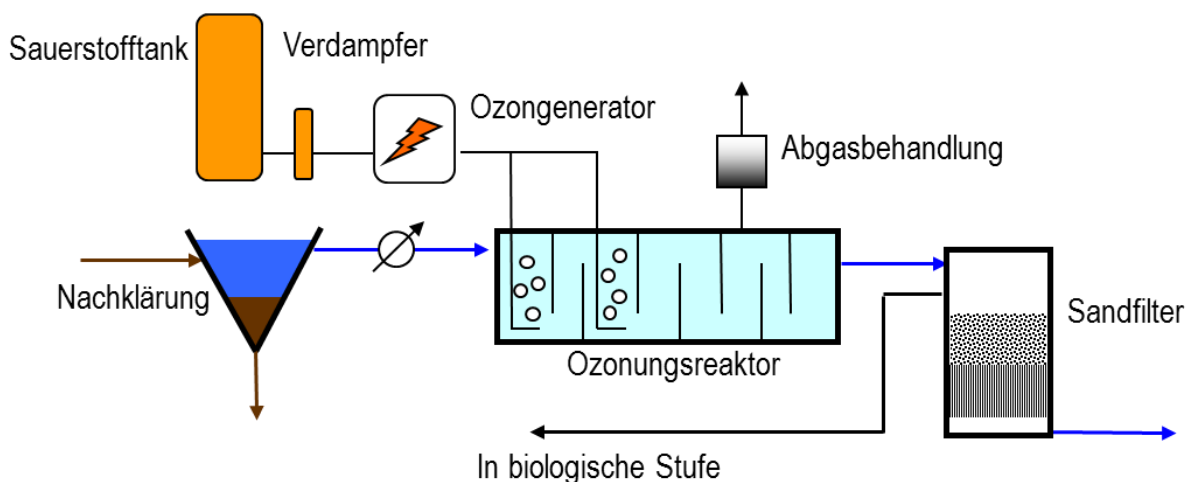
Fachliche Begleitung Ch. Abegglen (VSA), D. Pfund (ERZ Zürich), D. Rensch (AWEL), M. Schachtler (ARA Neugut), A. Schaffner (Holinger AG)

Allgemeines

Parameter

Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen

Beispiel eines allgemeinen Schemas einer Ozonungsanlage:



Quelle: Abegglen und Siegrist (2012)

Ozongas, Allgemein

Ozon (O_3) ist ein sehr stark oxidierendes und reizendes Gas, welches **schwerer als Luft** ist und sich deshalb im Innern von Gebäuden **in Bodennähe anreichert**.

Ozon muss **an Ort und Stelle erzeugt** werden. Zur

	<p>Herstellung wird meistens flüssiger Sauerstoff (Taupunkt [atmosphärisch] < -70°C) als Trägergas eingesetzt (Anmerkung: Taupunktwerte [atmosphärisch] > -70°C sind zur Ozonerzeugung nicht geeignet, und führen mittel- bis langfristig zu Verschmutzungen der Ozongeneratoren (Bildung von Niederschlägen wie z.B. Salpetersäure). Der Taupunkt ist daher messtechnisch zu überwachen. Bei erhöhten Werten (> -70°C) ist der Trocknungsvorgang des Gases gestört und die Steuerung des Ozongenerators sollte eine Alarmmeldung auslösen).</p> <p>Für weitere allgemeine Information zu Ozon wird an dieser Stelle auf die GESTIS-Stoffdatenbank verwiesen (siehe Referenzen).</p>												
<p>Ozongas, Gesundheitsrisiken</p>	<p>Ozon greift hauptsächlich die Schleimhäute von Augen, Nase, Rachenraum und Atemwegen an, und ist bereits ab geringen Konzentrationen (> 0.2 mg/m³ ~ 0.1 ppm) gesundheits-schädlich. Eine Übersicht über mögliche Gesundheitsfolgen - abhängig von der Ozonkonzentration - ist in folgender Tabelle gegeben:</p> <table border="1" data-bbox="646 1003 1401 1384"> <thead> <tr> <th>Ozonkonzentration</th> <th>Mögliche Gesundheitsfolgen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> 0.2 mg/m³ (~ 0.1 ppm)</td> <td>Hustenreiz, chronische Bronchitis</td> </tr> <tr> <td>> 1.0 mg/m³ (~0.5 ppm)</td> <td>Starke Reizung der Augen und der Atemwege mit starkem Hustenreiz, Nasenbluten und Atemproblemen</td> </tr> <tr> <td>> 2.0 mg/m³ (~ 1.0 ppm)</td> <td>Beengung der Brust, Schwindel, Kopfschmerzen, Kreislaufbeschwerden</td> </tr> <tr> <td>> 20 mg/m³ (~ 10 ppm)</td> <td>Bewusstlosigkeit, Lungenblutung, Tod</td> </tr> <tr> <td>> 10'000 mg/m³ (~ 5'000 ppm)</td> <td>Sofortiger Tod</td> </tr> </tbody> </table>	Ozonkonzentration	Mögliche Gesundheitsfolgen	> 0.2 mg/m ³ (~ 0.1 ppm)	Hustenreiz, chronische Bronchitis	> 1.0 mg/m ³ (~0.5 ppm)	Starke Reizung der Augen und der Atemwege mit starkem Hustenreiz, Nasenbluten und Atemproblemen	> 2.0 mg/m ³ (~ 1.0 ppm)	Beengung der Brust, Schwindel, Kopfschmerzen, Kreislaufbeschwerden	> 20 mg/m ³ (~ 10 ppm)	Bewusstlosigkeit, Lungenblutung, Tod	> 10'000 mg/m ³ (~ 5'000 ppm)	Sofortiger Tod
Ozonkonzentration	Mögliche Gesundheitsfolgen												
> 0.2 mg/m ³ (~ 0.1 ppm)	Hustenreiz, chronische Bronchitis												
> 1.0 mg/m ³ (~0.5 ppm)	Starke Reizung der Augen und der Atemwege mit starkem Hustenreiz, Nasenbluten und Atemproblemen												
> 2.0 mg/m ³ (~ 1.0 ppm)	Beengung der Brust, Schwindel, Kopfschmerzen, Kreislaufbeschwerden												
> 20 mg/m ³ (~ 10 ppm)	Bewusstlosigkeit, Lungenblutung, Tod												
> 10'000 mg/m ³ (~ 5'000 ppm)	Sofortiger Tod												
<p>Ozongas, Geruchsschwelle</p>	<p>Die geruchliche Wahrnehmungsschwelle von Ozon liegt mit 0.04 mg/m³ (~ 0.02 ppm) zirka 5mal tiefer als der MAK-Wert (siehe weiter unten). Ozon kann somit bereits in tiefen Konzentrationen wahrgenommen werden, die noch keine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben.</p> <p>In geringen Konzentrationen wird es als beissend-stechend wahrgenommen. In höheren Konzentrationen riecht es chlorähnlich. Achtung. Es findet eine Geruchsgewöhnung statt, d.h. es wird bereits nach kurzer Zeit nicht mehr wahrgenommen.</p>												
<p>Höchstzulässige Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert)</p>	<p>Der MAK-Wert (und auch der Kurzzeitgrenzwert) für Ozon in der Luft liegt bei 0.2 mg/m³ bzw. 0.1 ppm (SUVA, 2014, SUVA 2006).</p>												
<p>Ozon-Immissionsgrenzwert gemäss Luftreinhalteverordnung</p>	<p>Der Immissionsgrenzwert für Ozon gemäss Luftreinhalteverordnung beträgt 0.12 mg/m³ (~ 0.06 ppm;</p>												

(LRV)	<p>1-Stunden-Mittelwert).</p> <p>Zur Einhaltung des Immissionsgrenzwertes und zur Überwachung der korrekten Funktion einer Restozonvernichtungsanlage (ROV), ist die Abluft mit einer Ozonmessung zu überwachen.</p>
--------------	--

Planung und Bau von Ozonanlagen	
Parameter	Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen
Standortwahl der Ozongeneratoren	<p>Die Ozongeneratoren sollten aus Sicherheitsgründen folgendermassen geplant werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ möglichst in einem geschlossenen Raum, mit Zugang ausschliesslich für befugte Personen ohne ständigen Arbeitsplatz. ▪ so nah wie möglich beim Sauerstofftank (d.h. möglichst kurze Sauerstoffleitungen) ▪ so nah wie möglich beim Ozoneintrag (d.h. möglichst kurze Ozongas-Leitungen)
Material Verrohrung	<p>Da es sich bei Ozon um ein stark korrosives Gas handelt, wird empfohlen, sämtliche mit ozonhaltigem Gas und Wasser in Berührung kommende Verrohrungen aus rostfreiem Stahl gemäss DIN 1.4571 bzw. DIN 1.4404 sowie mit Dichtungen in ozonbeständigen Materialien (z.B. PTFE, PVDF, Silikone, etc.) zu realisieren. Detaillierte Angaben zur Werkstoffauswahl ist in der „Richtlinie für die Verwendung von Ozon zur Wasseraufbereitung“ gegeben.</p> <p>Es sind ausschliesslich Apparate, Instrumente und Armaturen zu verwenden, die für den Einsatz von Ozon geeignet sind.</p>
Verrohrung und Verbindungen	<p>Die Rohrleitungen für ozonhaltiges Gas sollten nur Schweissverbindungen aufweisen. Auf Schraubverbindungen (Flansche) ist zu verzichten. Bei Schweissverbindungen ist unbedingt auf die Schweissqualität zu achten, ansonsten besteht das Risiko von Lochfrass (Durchrosten der Leitung).</p> <p>In sämtlichen Räumen mit Ozonanlagen, wie Generatoren, Restozonvernichter, Ozongasleitungen, etc., bei denen Schraubverbindungen unumgänglich sind, müssen spezielle Sicherheitsmassnahmen, wie Gaswarneinrichtungen und eine technische Lüftung vorgesehen werden. Zudem sind diese Räume abzuschliessen, und dürfen nur für unterwiesenes Personal zugänglich sein.</p>
Verrohrung und Verbindung:	Rohrleitungen für ozonhaltiges Gas sind korrekt und den

<p>Beschriftung</p>	<p>internationalen Normen entsprechend zu kennzeichnen. Die Kennzeichnung erfolgt nach DIN 2403 „Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflussstoff“. Dazu ist ein gelbes Schild mit schwarzer Umrandung zu verwenden, mit schwarzer Aufschrift „Ozon“. Der Pfeil zeigt in die Richtung des Durchflusses.</p>
<p>Kontaktreaktor</p>	<p>Der Reaktor muss gasdicht abgeschlossen sein (Einströmen und Ausströmen des Wassers durch eine Dükerleitung) und ständig unter Unterdruck stehen, um bei Störungen jedweden Ozonaustritt zu verhindern. Zur Vermeidung von Schäden am Bauwerk durch Über-/Unterdruck sind entsprechende Ventile vorzusehen.</p>
<p>Korrosion</p>	<p>Ozon ist ein stark korrosives Gas und die Materialien, welche mit ozonhaltigem Gas oder Wasser in Berührung kommen müssen entsprechend „ozonbeständig“ sein. In der (Ab-)Wassertechnik wird deshalb vor allem mit rostfreiem Stahl (DIN 1.4571 bzw. 1.4404) für die Verrohrung gearbeitet. Im Weiteren sind folgende Punkte zu beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwendung von Cemdrain und einer entsprechenden Betonqualität, um eine dichte, möglichst porenfreie Oberfläche auf der Reaktorinnenseite zu gewährleisten. ▪ Alle Einlagen wie Drucktüren, Einstiegsöffnungen und Rohrleitungs-Durchführungen sind in die Schalung einzulegen. Kernbohrungen mit Pressring-Rohrleitungsdurchführungen sind nicht geeignet. Bei nachträglich erforderlichen Einlagen sind Aussparungen mit dem Vergiessen der Einlagen geeignet. ▪ Für die Befestigung von Reaktoreinbauten oder Rohrleitungen im Reaktor sind hochwertige Ankerstangen zu verwenden. ▪ Die Überdeckung der Armierungseisen durch den Beton muss gleichmässig sein (ca. 50mm). ▪ Für die Reparatur von Rissen im Beton (periodische Kontrolle) ist ozonbeständiger Injektionsmörtel zu verwenden.
<p>Personenschutz: Ozondetektoren / -schnüffler</p>	<p>Ozondetektoren sollten in Räumen installiert werden, in denen im Störfall Ozon austreten kann.</p> <p>Im Generatorenraum und in Räumen mit Sauerstoff führenden Leitungen ist die Sauerstoffkonzentration in der Umgebungsluft zu überwachen (siehe dazu auch Faktenblatt „Sicherheitsaspekte zum Umgang mit Sauerstoff auf Kläranlagen“).</p>
<p>Personenschutz: Platzierung der Ozondetektoren</p>	<p>Die Ozondetektoren sollten in Bodennähe (unteres Drittel der Raumhöhe) installiert werden, da Ozon schwerer ist als Luft.</p>

	<p>Es empfiehlt sich zudem, die Ozonkonzentration in der Umgebungs-Aussenluft zu messen, da insbesondere im Sommer eine relevante Hintergrundbelastung auftreten kann. Die Frischluft-Zuluft für die Betriebsgebäude kann dann über einen Aktivkohlefilter geführt werden, um das Ozon zu eliminieren (kann sonst zu einer Alarm-Auslösung führen).</p>
<p>Lüftung</p>	<p>Räume mit Ozonanlagen sind bezüglich Raumgrösse zu optimieren: d.h. das Raumvolumen sollte möglichst klein sein, jedoch mit ausreichend Platz für Fluchtwege und die Luftzirkulation.</p> <p>Der Raum muss mit einer technischen Lüftungsanlage ausgestattet sein, die einen dauernden mindestens 5-fachen Luftwechsel pro Stunde sicherstellt und mit Hilfe dessen die Raumluft im Alarmfall bis zu 10 Mal pro Stunde vollständig ausgetauscht werden kann (Sturmlüftung). Bei der Sturmlüftung ist eine ausreichende Nachlaufzeit zu berücksichtigen.</p> <p>Die Absaugöffnungen sind knapp über dem Boden vorzusehen. Im Weiteren muss darauf geachtet werden, dass die Abluft so abgeleitet wird, dass die ozonhaltige Luft keine Personen im Freien gefährdet.</p> <p>Das Design der Ventilationseinrichtungen muss der Tatsache Rechnung tragen, dass Ozon schwerer ist als Luft.</p>
<p>Not-Aus-Schalter</p>	<p>Jeder Ozonerzeuger ist mit einem Not-Aus-Schalter ausgerüstet.</p> <p>Der Eingang zu Räumen mit Ozonanlagen muss mit einer optischen und akustischen Warneinrichtung ausgestattet sein. Zudem muss mittels zusätzlichem Not-Aus-Schalter an leicht zugänglicher Stelle beim Eingang zur Ozonanlage und von einer Warte aus die Ozonerzeugung gestoppt und alle Ventile geschlossen werden können. Notmassnahmen müssen auch von ausserhalb des gefährdeten Bereichs manuell ausgelöst werden können (SUVA, 2014).</p>

Normalbetrieb von Ozonanlagen

Parameter	Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen
<p>Pflichten des Betreibers</p>	<p>Der Betreiber der Ozonanlage ist verpflichtet, jede Person, die mit oder an der Ozonanlage arbeitet (Reinigungspersonal, Betriebspersonal, Fremdpersonen etc.) über die Betriebsweise, Verwendung und die einzuhaltenden Schutzmassnahmen zu unterweisen.</p> <p>Der Betreiber gewährleistet die Funktionstüchtigkeit sämtlicher Schutz- und Sicherheitseinrichtungen (Fluchtwege, Raummonitoring, Lüftungseinrichtungen) der</p>

	<p>Ozonanlage, und ist verpflichtet eine Schutzausrüstung in einem sicheren Bereich (ohne Ozongefährdung) zur Verfügung zu stellen.</p>
Gelöstes Ozon im Reaktorablauf	<p>Gemäss Erfahrungen wird Ozon relativ schnell (innert wenigen Minuten) im Abwasser gezehrt. Im Normalbetrieb ist somit kein gelöstes Ozon im Ablauf des Kontaktreaktors vorhanden. In Störfällen kann aber gelöstes Ozon über den Ablauf in die Umgebungsluft gelangen. Um zu verhindern, dass gelöstes Ozon über den Ablauf des Ozonreaktors in die Umgebung austritt oder auf den Filter gelangt, muss im Falle einer Detektion von Ozon im Reaktorablauf (z.B. mittels Redox-Sonde) sofort der Ozongenerator abgeschaltet (und die Sturmlüftung eingeschaltet) werden. Auf diese Weise kann der Austritt von grossen Mengen an Ozon verhindert werden.</p> <p>Zusätzlich kann durch die Dosierung einer schnell reduzierenden Substanz (z.B. Natrium-Bisulfit) in den Reaktorablauf Restozon eliminiert werden. Natrium-Bisulfit verkrustet die Leitungen, eine Spülung der Dosiervorrichtung nach einer Na-Bisulfit Zugabe mit Brauchwasser kann dies verhindern.</p>
On-line Messung von gelöstem Ozon im behandelten Abwasser	<p>Zur Überwachung der gelösten Ozonkonzentration im Ablauf des Ozonreaktors sind on-line Messgeräte zu empfehlen. Dies kann entweder über eine Messung des gelösten Ozons gemacht werden, oder aber über eine Redox-Sonde. Nach aktuellem Stand der Erfahrungen ist eine Redox-Sonde zu bevorzugen, da sie deutlich wartungsarmer ist. Es geht dabei nicht um die Messung einer exakten Ozonkonzentration, sondern vielmehr um relative Veränderungen (d.h. Ozon vorhanden oder nicht).</p>
Ozonvernichtung in der Abluft	<p>Das Restozon in der Abluft des Ozonreaktors ist vor dem Ableiten ins Freie zu vernichten (SUVA, 2016). Dazu wird in der Regel ein thermisch-katalytischer Restozonvernichter (ROV) eingesetzt, welcher Ozon in Sauerstoff umwandelt. Die thermisch-katalytische Ozonzerstörung bei Temperaturen von zirka 60°C stellt ein relativ einfaches und robustes Verfahren dar.</p> <p>Alternativ kann die Ozonvernichtung auch rein thermisch oder mittels Aktivkohle durchgeführt werden.</p>
Messgeräte, Eichung	<p>Falls für die Steuerung der Ozonproduktion on-line Messwerte verwendet werden (z.B. UV-Absorbanzmessung) müssen diese Messgeräte unbedingt regelmässig geprüft und kalibriert werden. Nur korrekte Messwerte können für eine vernünftige Steuerung gebraucht werden. Es gilt zu beachten, dass Abläufe von Messgeräten eine „Ozonquelle“ darstellen können.</p>

Störbetrieb von Ozonanlagen

Parameter	Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen
Alarm: Ozondetektoren	<p>Sämtliche relevanten Räume (und zusätzlich auch an der Aussenluft) müssen mit Ozondetektoren ausgestattet werden.</p> <p>Für die „Warn- und Alarmstufe“ gelten folgende Ozonkonzentrationen in der Luft:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ „Warnstufe“: ab 0.2 mg/m³ (~0.1ppm)▪ „Alarmstufe“: ab 0.4 mg/m³ (~0.2ppm) <p>Der Alarm sollte an den Gebäudezutrittsstellen, an der Zutrittsstelle zum Ozongeneratorenraum, sowie an einer zentralen Kontrollstelle gemeldet werden. Zusätzlich muss ein optisches und akustisches Alarmsignal vor Ort ausgelöst werden.</p> <p>Bei „Warnstufe“ muss automatisch die Sturmlüftung eingeschaltet werden. Durch das Personal ist eine Kontrolle durchzuführen, weshalb die „Warnstufe“ angesprochen hat.</p> <p>Nach der Auslösung der „Alarmstufe“ („Ozon in der Luft“, oder bei einer Störung in der Restozonvernichtung) muss die Ozonproduktion automatisch gestoppt, und die Sturmlüftung eingeschaltet werden (eine ausreichende Nachlaufzeit muss beachtet werden).</p> <p>Diese Notmassnahmen müssen auch von ausserhalb des gefährdeten Bereich manuell ausgelöst werden können (über das Leitsystem und wenn nötig über den Not-Aus-Schalter).</p>
Betrieb Generator	<p>Falls die Ozonproduktion zu unstabil ist („unstetes Verhalten“), ist der Generator auszuschalten und eine Kontrolle durchzuführen.</p>

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](#))
- GESTIS Stoffdatenbank: Ozon. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung:
[http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$vid=gestisdeu:sdbdeu\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates$fn=default.htm$vid=gestisdeu:sdbdeu$3.0)
- SUVA (2014). *Anlagen zur Wasseraufbereitung – Sicher umgehen mit chemischen Stoffen.* Technisches Merkblatt. (Bestellnummer: 66091.d) ([download](#))

- *SUVA (2006). Factsheet Ozon. ([download](#))*
- *Richtlinien für die Verwendung von Ozon zur Wasseraufbereitung, ZH 1/474, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns Verlag (2005) ([download](#))*