

Sicherheitsaspekte zum Umgang mit Sauerstoff auf Kläranlagen

Das vorliegende Faktenblatt enthält eine Zusammenstellung von sicherheitstechnischen Aspekten im Umgang mit Sauerstoff auf Kläranlagen. Das Faktenblatt ist in folgende Bereiche unterteilt: (i) Allgemeines, (ii) Planung und Bau von Flüssigsauerstoff-Anlagen, und (iii) Betrieb von Flüssigsauerstoff-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).

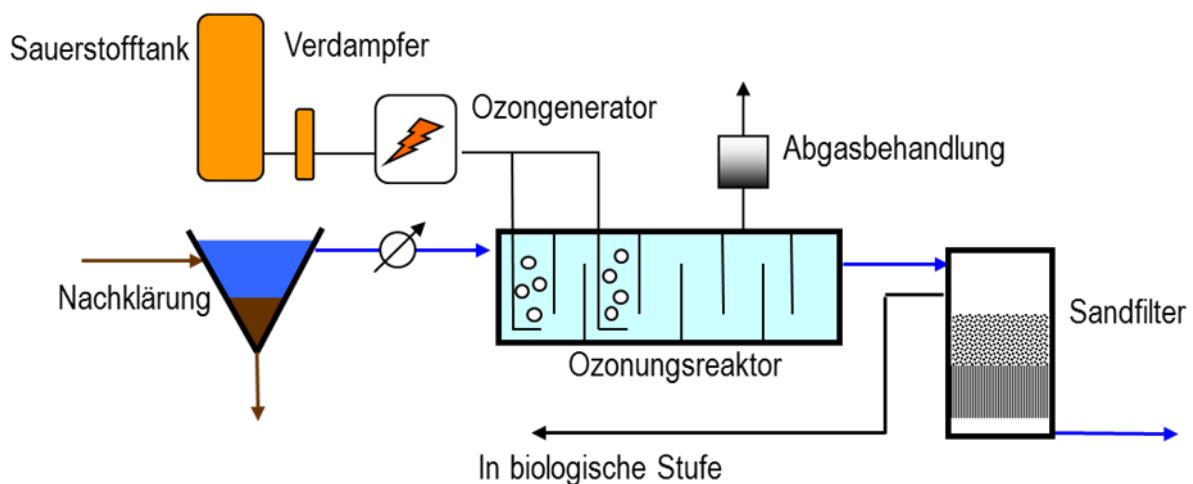
Redaktion	P. Wunderlin (VSA)
Erarbeitet durch	J. Margot (RWB SA), D. Urfer (RWB SA) im Auftrag des VSA
Fachliche Begleitung	Ch. Abegglen (VSA), D. Pfund (ERZ Zürich), D. Rensch (AWEL), M. Schachtler (ARA Neugut), A. Schaffner (Holinger AG).

Allgemeines

Parameter

Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen

Allgemeines Schema einer Ozonungsanlage, mit Erzeugung von Ozon aus Flüssigsauerstoff (LOX = Liquid Oxygen):



Quelle: Abegglen und Siegrist (2012)

Wird der Sauerstoff vor Ort aus der Umgebungsluft hergestellt (z.B. mittels VPSA = Vacuum Pressure Swing Adsorption), unterliegt die Anlage nicht den Sicherheitsaspekten für die Lagerung und für die Handhabung von Flüssigsauerstoff.

Allgemeine Informationen	<p>Sauerstoff (O₂) ist ein farb- und geruchloses Gas, das aus der Umgebungsluft (Anteil bei 21 Vol.-%) aufkonzentriert wird. O₂ ist bei Umgebungstemperatur schwerer als Luft (relative Dichte von 1.1, mit 1.429 kg/m³ unter Normalbedingungen) und neigt dazu – insbesondere bei geringen Temperaturen – sich in Bodennähe anzureichern. Sauerstoff ist für den Menschen lebensnotwendig.</p> <p>Sauerstoff ist ein oxidierendes (brandförderndes) Gas – selber jedoch nicht brennbar – das die Entzündung brennbarer Stoffe begünstigt. Sauerstoff kann somit die Entstehung von Bränden auslösen oder verstärken. Bei geringen O₂-Gehalten sind Verbrennungsprozesse entsprechend beeinträchtigt.</p>
Gesundheitsrisiken	<p>Enthält die Umgebungsluft weniger als 18 Vol.-% Sauerstoff spricht man von Sauerstoffmangel (SUVA, 2014). In Räumen ohne ausreichende Frischluftzufuhr kann es dann zu lebensbedrohlichem Sauerstoffmangel führen.</p> <p>Eine Gesundheitsbeeinträchtigung kann aber auch bei stark erhöhten O₂-Gehalten auftreten (Sauerstoffvergiftung). Erhöhte O₂-Gehalte in der Luft werden nicht wahrgenommen, da Sauerstoff farb- und geruchlos ist. Grundsätzlich ist es ungefährlich, reinen Sauerstoff über kurze Zeiträume (< 3 h) bei einem Druck von 1 bar einzusatmen. Bei mittel-/langfristiger Belastung (über mehrere Stunden) mit Konzentrationen über 50 Vol.-% bzw. unter erhöhtem Partialdruck (> 1 bar) wirkt der Sauerstoff aber giftig auf den menschlichen Körper. Dauerhaftes Einatmen von Sauerstoff mit Konzentrationen von über 80 Vol.-% über einen Zeitraum von über 12 Stunden kann zu Übelkeit, Schwindel, Atembeschwerden, Reizungen der Atemwege und/oder Ödeme führen. Bei Anzeichen einer Sauerstoffvergiftung muss die Person sofort unter normalen Sauerstoffpartialdruck gebracht werden.</p> <p>Bei Direktkontakt mit Flüssigsauerstoff oder einer nicht isolierten Rohrleitung kann es auf Grund der sehr tiefen Temperaturen des Flüssigsauerstoffs (-183 °C) zu Erfrierungen und Verbrennungen kommen.</p>
Brandrisiken	<p>Sauerstoff ist ein starkes Oxidationsmittel, das Verbrennungsvorgänge massiv begünstigt. Bereits eine minimale Erhöhung der Sauerstoffgehalte in der Luft (oberhalb von 23-25 Vol.-%) führt zu einem erheblich grösseren Brandrisiko. Einige Stoffe, die bei Umgebungsluft (21 Vol.-% O₂) nicht brennen, können sich bei erhöhten Sauerstoffgehalten und einer vorhandenen Zündquelle (z.B. Zigarette, Funken,</p>

	<p>elektrostatische Entladung, Reibung, etc.) plötzlich entzünden und heftig brennen. Dies gilt in besonderem Masse für Öle und Fette, die sich explosionsartig entzünden können, oder für andere brennbare Stoffe, wie Stäube, schmutzige Tücher, Textilien, Kleidung, Haare, Kunststoffe, Asphalt, Kerosin, Teer, etc.</p> <p>Grundsätzlich gilt somit: In sauerstoffreicher Atmosphäre (bereits wenig über 21 Vol.-%) verläuft die Verbrennung heftiger, und mit höheren Temperaturen als unter normalen Umgebungsbedingungen. Sauerstoff fördert sehr stark jeden Verbrennungsvorgang. Selbst schwerentflammbare Schutzkleidung kann unter diesen Bedingungen brennen (SUVA, 2014).</p>
<p>Explosionsrisiken</p>	<p>Eine starke Hitzequelle, wie beispielsweise Feuer, führt zur Verdampfung des Flüssiggases im Tank und folglich zu einer plötzlichen und heftigen Druckerhöhung. Dies kann zu einer Beschädigung des Sauerstofftanks führen, wobei grosse Sauerstoffmengen in die Umgebung austreten. Gemäss SUVA ist der Sauerstofftank aber keine Ex-Zone.</p>
<p>Versprödung und Korrosion von Stoffen</p>	<p>Einige Stoffe (z.B. Baustahl und fast alle Kunststoffe) können bei Kontakt mit extrem kalten Flüssigkeiten oder Gasen spröde werden.</p> <p>Sauerstoff ist grundsätzlich nicht korrosiv.</p>
<p>Umweltrisiken</p>	<p>Sauerstoff ist ein natürlicher Bestandteil der Luft. Entweicht Sauerstoff in die Atmosphäre, so hat dies keinerlei negative Konsequenzen. Gelangt Flüssigsauerstoff versehentlich in den Boden, so führt dies ebenfalls zu keinerlei Umweltverschmutzung, da der Sauerstoff schnell verdampft.</p>

Planung und Bau von Flüssigsauerstoff-Anlagen

<i>Parameter</i>	<i>Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen</i>
<p>Allgemeiner Schutz gegen Brandrisiken</p>	<p>Die Anlage muss gemäss den technischen Vorschriften und geltenden Standards konzipiert sein (vgl. RG 402 und 450, IG 42, 112.1 des SVS).</p> <p>Geräte, die mit reinem Sauerstoff oder sauerstoffangereicherter Luft in Kontakt kommen, müssen vollkommen öl- und fettfrei sein. Zur Geräteschmierung müssen daher sauerstoffbeständige Schmiermittel verwendet werden.</p> <p>Brennbare Stoffe (Öle, Asphalt, Kunststoffe, Textilien)</p>

	<p>dürfen unter keinen Umständen mit reinem Sauerstoff in Kontakt kommen.</p> <p>Geräte in welchen Sauerstoff gefördert wird, müssen vor ihrer Inbetriebnahme und danach mindestens alle 5 Jahre auf ihre Dichtigkeit überprüft werden.</p> <p>Brandbekämpfungsmittel - wie Pulverlöscher, Hydranten, Notfall-Dusche - müssen in unmittelbarer Nähe zum Lagerort zur Verfügung stehen.</p>
<p>Sauerstoffdetektion</p>	<p>Erhöhte Sauerstoffgehalte (> 23.5 Vol.-%) in der Umgebungsluft erhöhen das Brandrisiko erheblich. Bei Sauerstofferzeugungsanlagen kann Stickstoff in den Anlagenraum gelangen. Deshalb kann die Sauerstoffkonzentration auch abnehmen. In allen Räumen, in denen Sauerstoff bzw. Stickstoff entweichen kann, müssen daher Detektoren für gasförmigen Sauerstoff in Bodennähe (auf 20-40 cm Höhe) angebracht werden.</p> <p>Folgende Warnschwellenwerte sind empfohlen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ UNTERER Warnschwellenwert bei 20 Vol.-% O₂ ▪ OBERER Warnschwellenwert bei 22 Vol.-% O₂ <p>Spricht die Warnstufe an, muss automatisch die Sturmlüftung eingeschaltet werden, und durch das Personal kontrolliert werden, warum der Warnschwellenwert angesprochen hat (die O₂- und O₃-Erzeugung muss nicht zwingend ausgeschaltet werden).</p> <p>Folgende Alarmschwellenwerte sind empfohlen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ UNTERER Alarmschwellenwert bei 18 Vol.-% O₂. ▪ OBERER Alarmschwellenwert bei 24 Vol.-% O₂ <p>Spricht die Alarmschwellenwert an, muss die (O₂- und) Ozonproduktion automatisch gestoppt und die Sturmlüftung automatisch eingeschaltet werden.</p>
<p>Lüftungsanlage</p>	<p>Flüssigsauerstoff hat einen extrem hohen Ausdehnungskoeffizienten: 1 Liter Flüssigsauerstoff entspricht 855 Liter gasförmigem Sauerstoff (bei 1 atm, 15°C). Flüssiger Sauerstoff darf daher ausschliesslich an gut belüfteten Orten verwendet werden.</p> <p>Räume, in die Sauerstoff entweichen kann, müssen mit einer entsprechenden Lüftungsanlage ausgestattet sein, die einen ausreichenden Luftaustausch (zirka 10-facher Luftaustausch pro Stunde) gewährleistet.</p>
<p>Umschlag, Lagerung und Förderung von Flüssigsauerstoff</p>	<p>Die Lieferung von Sauerstoff (Reinheitsgrad von 98% bei >99.5%) erfolgt in flüssigem Zustand in amtlich</p>

	<p>geprüften und vakuumisolierten Kryobehältern (Maximaldruck von 15 bis 40 bar) an eine ebenerdige mit dem Transportfahrzeug gut erreichbare Stelle. Die niedrige Temperatur im Tank (die Siedetemperatur von Flüssigsauerstoff liegt bei -183°C) wird dank ständiger Verdampfung des Sauerstoffs gehalten.</p> <p>Für Ozonungsanlagen wird Flüssigsauerstoff (LOX = Liquid Oxygen) in Strassentankwagen mit zirka 20'000 kg Inhalt angeliefert und mittels einer Pumpe auf dem Tankwagen in ortsfeste Tanks umgefüllt.</p> <p>Flüssigsauerstoff muss an einem gut belüfteten Ort (im Freien oder unter einem einfachen Dach), abseits von Wärme- und Zündquellen und brennbaren Stoffen gelagert werden. Der empfohlene Mindestabstand zwischen dem Sauerstofftank und brennbaren Gegenständen, aber auch zu nahegelegenen Wohnhäuser, öffentlichen Wegen, Kellerabgängen, Abflussrinnen oder Schächten beträgt mindestens 5 Meter. Ausnahmen sind möglich, und mit dem zuständigen Inspektorat abzuklären.</p> <p>Es muss dafür gesorgt werden, dass sich in unmittelbarer Nähe des Umschlags- und Lagerorts von Flüssigsauerstoff (in einem Umkreis von 5 Metern) keinerlei Eintrittsöffnungen zur Kanalisation ohne Siphon und keinerlei offene Zugänge/Fenster befinden, die mit Räumen oder Kanalsystemen tieferer Ebenen verbunden sind. Bei Leckagen würden sowohl flüssiger als auch gasförmiger Sauerstoff - beide schwerer als Luft - zur Ansammlung neigen, was zu einem hohen Brandrisiko führt.</p> <p>Flüssigsauerstoff muss in einem eigens für diese Art von Flüssiggas entwickelten Tank (Kryotank) gelagert werden. Asphaltierte Flächen sowie poröse Oberflächen des Umschlag- und Lagerortes sind nicht geeignet und daher verboten (Entzündungsgefahr bei Austritt). Es eignen sich Lagerflächen aus Beton oder Stahlplatten zum Schutz bei asphaltierten Umschlagstellen. Zudem sollten die Lagerflächen so gestaltet sein, dass sie in jedem Fall verhindern, dass Flüssigsauerstoff in Bereiche gelangt, wo er eine Gefahr darstellen kann. Eine Zugangsbeschränkung ist zu empfehlen. Zudem ist die Tankanlage mit Anfahrschutz zu sichern, insbesondere beim Flüssigsauerstoff-Umschlagort.</p> <p>Kryotanks sind nicht zu 100% dicht, d.h. im Sauerstofftank verdampft permanent flüssiger Sauerstoff. Aus diesem Grund sind Kryo-Drucktanks mit Ablassventilen ausgestattet, um die Entstehung eines Überdrucks zu verhindern. Zum Druckausgleich wird in</p>
--	---

	<p>regelmässigen Abständen ein Teil des Sauerstoffs durch die Ventile an die Luft abgegeben. Diese Ablasventile müssen daher an einem gut belüfteten Ort im Freien angebracht sein.</p> <p>Wenn das Risiko besteht, dass Flüssigsauerstoff zwischen zwei Hähnen eingeschlossen werden kann, so müssen Ablasventile (oder Berstscheiben) angebracht werden, um ein Bersten der Rohrleitung bei Verdampfen der Flüssigkeit zu vermeiden. Diese müssen in einem gut belüfteten Bereich angebracht sein. Die Flüssigsauerstoff-Leitungen sind zu isolieren.</p> <p>Bei ständigem Flüssigsauerstoff-Bezug muss das sich bildende Eis am Verdampfer sporadisch abgetaut werden. Dazu ist ein redundanter Verdampfer notwendig.</p>
Einzusetzende Stoffe / Materialwahl	<p>Es sind ausschliesslich Apparate, Instrumente und Armaturen zu verwenden, die für die entsprechenden Betriebsbedingungen sowie für den Einsatz von Sauerstoff geeignet sind. Das heisst, Stoffe und Materialien, die mit Sauerstoff in Kontakt kommen, müssen eine hohe Zündtemperatur aufweisen und dürfen nicht mit Sauerstoff reagieren.</p> <p>Geeignete Stoffe sind im Wesentlichen Metalle (Kupfer- und Nickellegierungen sowie rostfreier Stahl), die sich durch eine hohe Zündtemperatur auszeichnen.</p> <p>Plastik sollte nur eingeschränkt verwendet werden. Für Fugen, Blenden, elektrische Isolierungen, Beschichtungen, usw. können Fluor- und Chlorfluorharze/-Elastomere verwendet werden. Die Eignung muss im Einzelfall geprüft werden.</p> <p>Stoffe und Materialien, die mit Flüssigsauerstoff in Kontakt kommen, müssen darüber hinaus in der Lage sein, sehr niedrigen Temperaturen standzuhalten. Hierzu eignet sich insbesondere Kupfer, austenitische Stähle, die meisten Aluminiumlegierungen sowie PTFE. Das Schrumpfverhalten der Stoffe bei niedrigen Temperaturen muss berücksichtigt werden.</p> <p>Die Verwendung von Schmiermitteln sollte vermieden werden. Nur wenige Schmiermittel sind mit gasförmigem Sauerstoff kompatibel (Graphit, einige Silikone und einige Polymere).</p> <p>Es ist äusserst wichtig, dass die Stoffe und Materialien, die mit Sauerstoff in Kontakt kommen, öl- und fettfrei sind. Bei Lieferungen müssen Verunreinigungen wie Fette, Öle, Gewindedichtungen, Schmiermittel, Späne,</p>

	etc. unbedingt entfernt werden (Sauerstoffbeständigkeit der Reinigung).
Kennzeichnung	Sauerstoffführende Leitungen müssen entsprechend gekennzeichnet sein.
Schutz vor Störfällen (StFV)	Anlagen mit Sauerstofftanks mit einem Fassungsvermögen von mehr als 20'000 kg Sauerstoff (d.h. > 17.5 m ³ Flüssigsauerstoff) unterliegen der Störfallverordnung (StFV).

Betrieb von Flüssigsauerstoff-Anlagen

Parameter	Bemerkungen / Empfehlungen / Referenzen
Handhabung von Flüssigsauerstoff	<p>Beim Hantieren mit Flüssigsauerstoff (Umfüllen, Anschliessen oder Lösen von Rohrleitungen, etc.) müssen vollständig bedeckende Schutzkleidung, gut isolierte Handschuhe, verstärkte Stiefel und eine Gesichtsschutzmaske getragen werden, um Kälteverbrennungen zu verhindern. So kann beispielsweise durch eine Erhöhung der Flüssigsauerstoff-Temperatur (plötzliches Sieden) flüssiger Sauerstoff herausspritzen. Der (ungeschützte) Kontakt mit nicht isolierten Flüssigsauerstoffleitungen ist auf jeden Fall zu vermeiden (auf Grund der tiefen Temperatur kann die Haut am Metall festkleben; siehe „Kennzeichnung“).</p> <p>Kleidung, die mit einer sauerstoffreichen Atmosphäre in Kontakt gekommen ist, muss abseits jeglicher Zündquellen sehr sorgfältig gelüftet werden (mindestens 1 h), da sich Sauerstoff leicht in Textilien festsetzt. Dadurch werden sie extrem gut brennbar. Gleiches gilt für die Haare.</p> <p>Öle und Fette sind ernstzunehmende Gefahrenquellen. Kleidung mit Fett- oder Ölflecken dürfen nicht getragen werden. Geräte, die mit Sauerstoff in Kontakt kommen, dürfen unter keinen Umständen Öl- oder Fettflecken aufweisen. Zudem ist die Verwendung von Ölen und Fetten an Hähnen und Stutzen verboten. Sauerstoff darf nur abseits von brennbaren Stoffen verwendet werden.</p> <p>Zündquellen - wie offenes Feuer, brennende Zigaretten, Funken, heisse Oberflächen, etc. - sind in einer sauerstoffangereicherten Atmosphäre absolut zu vermeiden.</p> <p>Um eine Erhitzung des Gases durch adiabatische Kompression (Druckstoss) zu verhindern, dürfen</p>

	Armaturen (Hähne) nur langsam geöffnet werden.
Unbeabsichtigter Austritt	Tritt Flüssigsauerstoff ungewollt aus, müssen umgehend alle Zündquellen entfernt und die Räume gut gelüftet werden (siehe „Sauerstoffdetektion“). Es muss unbedingt verhindert werden (Leckage-Eindämmung), dass Sauerstoff in die Kanalisation oder in andere Bereiche gelangt, in denen eine Flüssigsauerstoff-Ansammlung eine Gefahr darstellen kann . Bevorzugt sollte der ausgetretene Sauerstoff an einem gut belüfteten Ort in die Atmosphäre abgeleitet werden. Es gilt zu beachten, dass einige Stoffe durch den Kontakt mit Flüssigsauerstoff aufgrund der niedrigen Temperaturen porös werden können.
Transport von Flüssigsauerstoff	Flüssigsauerstoff zählt beim Transport auf der Strasse zur Gefahrgutklasse 2 (Klasse O, Kennzahl 3) und unterliegt der Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR/ADR). Die Beförderung muss daher durch entsprechend geschultes Fachpersonal erfolgen.

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). Brenngas-Sauerstoff-Anlagen – Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren. Bestellnummer: SBA 128.d ([download](#))
- Schweizerischer Verein für Schweisstechnik SVSxASS. Regel der Technik Gase RG 450: Anlagen mit ortsfesten vakuumisolierten Kryobehältern für nicht brennbare Gase.
- Schweizerischer Verein für Schweisstechnik SVSxASS. Regel der Technik Gase RG 402: Herstellung und Betrieb von Rohrleistungssystemen für Sauerstoff für Betriebsdrücke bis 70 bar.
- Schweizerischer Verein für Schweisstechnik SVSxASS. Information Gas IG 42: Versorgungsanlagen für technische Gase.
- Schweizerischer Verein für Schweisstechnik SVSxASS. Richtlinien technische Gase 112.1: Richtlinien über Anlagen zur Gewinnung von Sauerstoff, Stickstoff und Edelgasen aus der Luft.
- Beeson H.D., Smith S.R., Stewart, W.F. Safe use of oxygen and oxygen systems: handbook for design, operation, and maintenance – 2nd. ed. ASTM 2007
- Industrial Gases Committee, IGC 13/82. The transportation and distribution of oxygen by pipeline – Recommendations for the design, construction, operation and maintenance.

- *NASA, NSS 1740.15. Safety standard for oxygen and oxygen systems.*
- *Industriegasverband der Schweiz (IGS). Sicherheitsempfehlung.*
- *Réglementation française. Arrêté type – Rubrique n° 328 bis – Oxygène liquide (Dépôts d’).*
- *Linde Group. Liquide oxygen – Product Safety Assessment.*
- *Air Products. Liquide oxygen – Safetygram 6.*