

DIN EN 17971



ICS 13.060.20

Einsprüche bis 2023-06-07
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 19627:2018-01

Entwurf

**Anlagen zur In-Situ-Erzeugung und Dosierung von Bioziden zur
Aufbereitung von Trink- und Schwimm- und Badebeckenwasser –
Ozon;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17971:2023**

In-situ generating and dosing devices of biocides for drinking and swimming pool water treatment –

Ozone;

German and English version prEN 17971:2023

Équipements pour le production in situ de biocides pour le traitement de l'eau –

Ozone;

Version allemande et anglaise prEN 17971:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-04-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naw@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 73 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17971:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 164 „Wasserversorgung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitskreis NA 119-07-13-01 AK „EN für Anlagen zur In-Situ-Erzeugung und Dosierung von Bioziden zur Wasserbehandlung“ im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN 19627:2018-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm redaktionell überarbeitet.

April 2023

prEN 17971

**Anlagen zur In-Situ-Erzeugung und Dosierung von Bioziden zur Aufbereitung von
Trink- und Schwimm- und Badebeckenwasser – Ozon**

In-situ generating and dosing devices of biocides for drinking and swimming pool water treatment – Ozone

Équipements pour le production in situ de biocides pour le traitement de l'eau – Ozone

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Technologie der stillen elektrischen Entladung zur Ozonerzeugung	8
5 Unterscheidungsmerkmale von Ozonerzeugungsanlagen	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Bauart der Ozonerzeugungsanlagen	9
5.3 Betriebsdruck	9
5.4 Einsatzgas	9
5.5 Kühlung des Ozonerzeugers	9
6 Technische Daten der Ozonerzeugungsanlage	9
7 Typenschild	10
8 Ausrüstung und Werkstoffe von Ozon-Systemen	11
8.1 Allgemeines	11
8.2 Ausrüstung für die Zufuhr von Einsatzgas	11
8.3 Ausrüstung zur Kühlung des Ozonerzeugers	11
8.4 Werkstoffe	11
8.4.1 Werkstoffe für Bauteile, die mit Einsatzgas in Berührung kommen	11
8.4.2 Werkstoffe für Bauteile, die mit Ozon in Berührung kommen	11
8.5 Elektrische Ausrüstung	11
8.6 Steuerung und Überwachung	12
9 Chemie	12
9.1 Chemie der Ozonerzeugung	12
9.2 Reinheitsanforderungen an das Einsatzgas	14
9.3 Chemie der Reaktionsnebenprodukte der Ozonerzeugung	15
9.4 Chemie der Nebenprodukte von in Wasser dosiertem Ozon	15
10 Dosierung von Ozon	15
11 Aufstellungsort	16
12 Kühlmittel	17
13 Anforderungen an die Betriebssicherheit von Ozon-Systemen	17
14 Betrieb und Wartung	20
15 Prüfung von Ozonerzeugungsanlagen zu deren Charakterisierung	20
15.1 Allgemeines	20
15.2 Umfang der Prüfung	21
15.3 Prüfung der Dokumentation und Ausführung	21
16 Nennausbeute der Ozonerzeugungsanlage	22
16.1 Bestimmung der Nennausbeute der Ozonerzeugungsanlage	22
16.2 Bestimmung des Volumenstroms Q_{out}	23
16.3 Photometrische Bestimmung der Ozonkonzentration γ_n durch UV-Absorption	24
16.3.1 Kurzbeschreibung des Verfahrens	24
16.3.2 Verfahren und Beurteilung	25
16.4 Bestimmung der Ozonkonzentration γ_n durch Titration	26
16.4.1 Kurzbeschreibung	26
16.4.2 Prüfgerät	26
16.4.3 Reagenzien	26
16.4.4 Durchführung der Messung	27
16.4.5 Beurteilung	28
Anhang A (informativ) Beispiele für Mischvorrichtungen	30
A.1 Durchmischung mit Injektor und statischem Mischer	30
A.2 Mehrstufige Pumpen	31

A.3	Direktinjektion und statische Mischer	31
A.4	Zusätzliche Mischverfahren	32
Anhang B	(normativ) Verfahren zur Bestimmung von Ozon in Wasser	34
B.1	DPD-Verfahren	34
B.2	Indigo-Verfahren	34
Literaturhinweise		36

Bilder

Bild 1	— Beispiel für die Ozonerzeugung in einem elektrischen Wechselfeld in einem einzigen Entladungsspalt, der aus konzentrischen Elektroden und einer dielektrischen Barriere besteht	8
Bild 2	— Prozess der Ozonerzeugung und Wasseraufbereitung	13
Bild 3	— Schematischer Aufbau eines UV-Photometers zur Bestimmung der Ozonkonzentration	24
Bild 4	— Messanordnung zur Bestimmung der Ozonkonzentration	27
Bild 5	— Gaswaschflaschen nach Muenke, Nennvolumen 500 ml	28
Bild A.1	— Beispiel für eine Mischvorrichtung: Gaseinspeisung mit Injektor im Teilstrom und statischem Mischer im Gesamtstrom	30
Bild A.2	— Beispiel: Mehrstufige Pumpe im Teilstrom	31
Bild A.3	— Direkte Injektion	32
Bild A.4	— Vermischung durch Diffusoren in der Reaktionskammer	32
Bild A.5	— Vermischung durch Säulenbegasung	33

Tabellen

Tabelle 1	— Mindestanforderungen für den Schutz gegen eine unbeabsichtigte Freisetzung von Ozon	19
-----------	---	----

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17971:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 164 „Wasserversorgung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Sollen Anlagen nach dieser Norm in anderen Anwendungsbereichen (z. B. Abwasser- und Luftbehandlung und Oberflächendesinfektion) eingesetzt werden, müssen gegebenenfalls zusätzliche Anforderungen beachtet werden. Insbesondere die Anforderungen für Einsatzgas können sich für andere Anwendungen unterscheiden.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument ist anwendbar auf Anlagen zur Erzeugung und Dosierung des Biozids Ozon. Das Ozon wird in diesen Anlagen nach der Technologie der stillen elektrischen Entladung erzeugt. Nach EN 1278 und EN 15074 ist Ozon für die Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) bzw. für die Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser geeignet. Ozon kann dem Wasser zu Desinfektions- und zu oxidativen Zwecken zugesetzt werden. Die vorliegende Norm kann auch für andere Technologien zur Erzeugung von Ozon, z. B. Elektrolyse oder UV-Bestrahlung, angewendet werden, soweit dies sinnvoll oder anwendbar ist.

Diese Norm legt die Herstellung der Anlage und die Prüfverfahren für die Ausrüstung zur *In-situ*-Erzeugung von Ozon fest. Sie gibt die Anforderungen an Montage-, Betriebs- und Wartungsanleitungen sowie Sicherheitsanweisungen und an die mit dem Produkt zu liefernde Dokumentation an.

Die *In-situ*-Erzeugung von Wirkstoffen, insbesondere von Ozon, unterliegt den Angaben der Biozid-Verordnung (EU) 528/2012 (BPR) [10]. Die Verwendung von Ozon zum Zweck der Desinfektion/mikrobiologischen Konservierung von Wasser erfordert die Einhaltung der Bestimmungen der BPR, insbesondere den Zugang des Nutzers oder seines Anlagenherstellers zu einem für die Zulassung von Ozon nach der BPR erforderlichen Datensatz.

Die *In-situ*-Erzeugung von Ozon zum überwiegenden Zweck der Oxidation von Wasserinhaltsstoffen unterliegt den Vorgaben der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) [11]. Die Verwendung zu Oxidationszwecken setzt voraus, dass der Nutzer Zugriff auf den Datensatz hat, der für die Zulassung von Ozon unter REACH vorgesehen ist.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 12876, *Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch — Sauerstoff*

EN 60529, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*

EN 10088-3, *Nichtrostende Stähle — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

EN ISO 385, *Laborgeräte aus Glas — Büretten (ISO 385)*

EN ISO 648, *Laborgeräte aus Glas — Vollpipetten (ISO 648)*

EN ISO 4788, *Laborgeräte aus Glas — Messzylinder und Mischzylinder (ISO 4788)*

EN ISO 7393-2, *Wasserbeschaffenheit — Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor — Teil 2: Kolorimetrisches Verfahren mit N,N-Dialkyl-1,4-Phenylendiamin für Routinekontrollen (ISO 7393-2)*

EN ISO 13849-1, *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze (ISO 13849-1)*

EN ISO 13849-2, *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 2: Validierung (ISO 13849-2)*

EN ISO 24450, *Laborgeräte aus Glas — Erlenmeyer-, Rund- und Stehkolben, weithalsig (ISO 24450)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

ANMERKUNG Zusätzlich sind die in Artikel 3 der Biozid-Verordnung [10] aufgeführten Begriffe bei der Anwendung des vorliegenden Dokuments nützlich.

3.1

Ozonerzeuger

Teil der Ozonerzeugungsanlage, in dem Einsatzgas durch ein stilles elektrisches Entladungsfeld geleitet wird, um Ozon zu erzeugen

3.2

Ozonerzeugungsanlage

gesamte Anlage, die für die Erzeugung von Ozon aus dem Einsatzgas erforderlich ist, einschließlich z. B. Stromversorgung und Ozonerzeuger

3.3

Ozon-System

Kombination von Geräten, die neben der Ozonerzeugungsanlage und der Ozon-Dosierungseinrichtung, die beide in diesem Dokument beschrieben sind, auch Geräte zur Verteilung von und zur Reaktion mit Ozon umfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Jegliche dem Ozon ausgesetzten Ausrüstungen oder Anlagen, z. B. Reaktionsbehälter, Pumpen, Rohrleitungen, Behälter oder Wärmetauscher, gelten als Teil des Ozon-Systems.

3.4

geschlossenes Ozon-System

Ozon-System, bei dem das Ozon das Ozon-System nicht oder nur derart verlässt, dass nur eine vernachlässigbare Freisetzung von Ozon in das Gebäude oder in die Umwelt erfolgt

3.5

offenes Ozon-System

beliebiges System, das nicht nach 3.4 als geschlossenes Ozon-System betrachtet wird

3.6

Einsatzgas

Substanz, die der Ozonerzeugungsanlage zur Erzeugung von Ozon zugeführt wird

3.7

Taupunkt

Parameter, in °C, der den Feuchtegehalt eines Gases angibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Taupunkt bezieht sich auf die Temperatur, auf die ein Gas abgekühlt werden muss, um mit Wasserdampf gesättigt zu werden, wobei von einem konstanten Luftdruck und Wassergehalt ausgegangen wird.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wird die Luft unter den Taupunkt abgekühlt, verringert sich ihre Feuchtekapazität, und der in der Luft enthaltene Wasserdampf kondensiert zu flüssigem Wasser, das als Tau bezeichnet wird. Geschieht dies durch den Kontakt mit einer kälteren Oberfläche, bildet sich Tau auf dieser Oberfläche.

3.8

Restozon-Entfernungsanlage

Restozon-Umwandler

Anlage für die Vernichtung von Restozon, das durch das Ozon-System nicht aufgezehrt wurde und sich als Gas in einem Abgasstrom akkumuliert

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Vernichtung erfolgt in der Gasphase durch Umwandlung von Ozon (O_3) zu Sauerstoff (O_2). Ist die Anwendung/Verwendung einer Restozon-Entfernungsanlage erforderlich, muss die Restozon-Entfernungsanlage als integraler Bestandteil des Ozon-Systems betrachtet werden.

3.9

Normtemperatur und -druck des Gases

Gas unter den Bedingungen der Normtemperatur $t_n = 0\text{ °C}$ und des Normdrucks $p_n = 101\,325\text{ Pa}$

3.10

Normalkubikmeter

m_n^3

Kubikmeter Gas, in der Regel trocken, bezogen auf 1 Atmosphäre (101 325 kPa) und 0 °C, d. h. auf Normtemperatur und -druck des Gases

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit wird in m_n^3 angegeben. In anderen Dokumenten wird manchmal die Einheit Nm^3 verwendet.

[QUELLE: EN ISO 20675:2021, 3.41]

3.11

Unterdruckanlage

Anlage, deren Teile und Rohrleitungen, soweit sie ein ozonhaltiges Gas führen, von der Ozonerzeugungsanlage bis zur Mischvorrichtung alle unter Unterdruck stehen

3.12

Überdruckanlage

Anlage, deren Teile und Rohrleitungen, soweit sie ein ozonhaltiges Gas führen, von der Ozonerzeugungsanlage bis zur Mischvorrichtung alle oder teilweise unter Überdruck stehen

3.13

zur Prüfung befähigte Person

Person, die aufgrund ihrer technisch-wissenschaftlichen Ausbildung, ihrer Berufserfahrung und ihrer Kenntnisse der einschlägigen Normen und Vorschriften in der Lage ist, ein Ozon-System hinsichtlich Funktionen und Sicherheit zu beurteilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Person kann vom Hersteller oder von einer unabhängigen dritten Organisation (z. B. einer Prüfstelle) kommen; ein Prüfer nach EN ISO/IEC 17020 Typ C erfüllt dieses Kriterium uneingeschränkt.

3.14

geschlossenener, verschließbarer Aufstellungsraum

verschließbarer, für einen begrenzten Personenkreis zugänglicher Technikraum, in dem die Ozonerzeugungsanlage und letztendlich weitere Teile des Ozon-Systems installiert sind und in dem darüber hinaus weitere technische Ausrüstung installiert werden kann

3.15

individueller Aufstellungsraum

Technikraum, in dem ausschließlich die Ozonerzeugungsanlage installiert ist und betrieben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff umfasst auch Gehäuse für den Einbau.

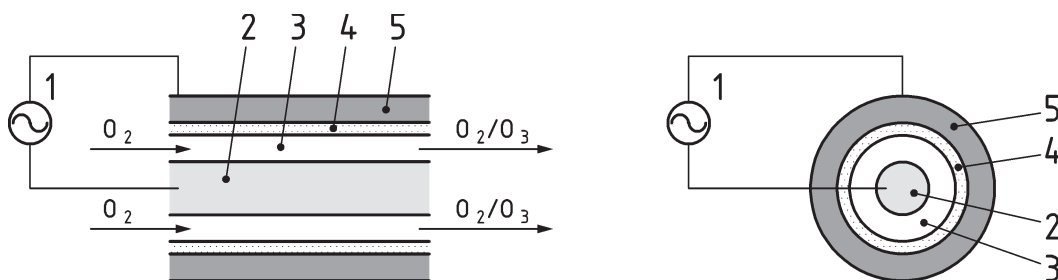
4 Technologie der stillen elektrischen Entladung zur Ozonerzeugung

Die stille elektrische Entladung (DBD, en: dielectric barrier discharge) ist die Grundlage der meisten kommerziellen Ozonerzeuger. In der Praxis werden anstelle von DBD mehrere andere Begriffe mit der gleichen Bedeutung verwendet: stille Entladung, dielektrische Barriereentladung, Plasmaentladung, Koronaentladung.

Bei der stillen elektrischen Entladung wird Ozon durch die Energie von Elektronen in einem elektrischen Feld zwischen zwei Elektroden erzeugt. Bei den Elektroden handelt es sich in der Regel um zwei parallele Platten oder konzentrische Zylinder, die in einem bestimmten Abstand zueinander angeordnet sind und so einen einfachen oder doppelten Entladungsspalt bilden. Die Elektroden sind durch ein dielektrisches (nichtleitendes) Barrierematerial und den Entladungsspalt voneinander isoliert, siehe Bild 1.

Der Vorläufer ist Umgebungsluft oder Sauerstoff, auch Einsatzgas genannt. Ozon (O_3) wird aus dem Sauerstoff (O_2) des Einsatzgases erzeugt, das durch den Entladungsspalt geleitet wird, siehe Bild 1. Übersteigt das durch die an den Elektroden angelegte Hochspannung erzeugte elektrische Feld die Isolationsfeldstärke des Einsatzgases im Entladungsspalt, setzt die Entladung im Einsatzgas ein. Die Entladung erzeugt einen Strom aus elektrisch geladenen Teilchen, die aus Elektronen und Ionen bestehen. Im Entladungsbereich findet die beabsichtigte chemische Reaktion statt: $3 O_2 \rightarrow 2 O_3$ (zusammengefasst). Nach kurzer Zeit, d. h. nach einigen Mikrosekunden, wird der Entladungsstrom aufgrund der Polarisierung des Dielektrikums durch den Entladungsstrom unterbrochen, da die Polarisierung des Dielektrikums das treibende elektrische Feld kompensiert. Da es sich bei der angelegten Hochspannung um eine Wechselspannung handelt, wiederholt sich der Vorgang mit umgekehrtem Vorzeichen des treibenden elektrischen Feldes, das folglich in dem Moment, in dem die neue Entladung einsetzt, dieselbe Richtung hat wie das elektrische Feld des Dielektrikums. Wie bereits zuvor wird die Entladung unterbrochen, wenn sich die Polarisierung des Dielektrikums umkehrt und das treibende elektrische Feld kompensiert. So ermöglicht der Wechsel der angelegten Hochspannung einen kontinuierlichen Prozess, durch den Ozon erzeugt wird.

Der Wechsel der angelegten Spannung erfolgt schnell. Eine Wechselphase ist dabei viel kürzer als die Übergangszeit, die das Gas benötigt, um den Ozonerzeuger zu passieren, so dass das Ozon homogen in dem Gas verteilt ist, das die Anlage als Ozonausbeute verlässt. Folglich verfügen DBD-Anlagen über eine konstante Ozonausbeute ohne Unterbrechungen oder Abfall, wenn die Zufuhr des Einsatzgases kontinuierlich gewährleistet ist, die Umgebungsbedingungen, z. B. Temperatur oder Druck, stabil sind und schließlich die Hochspannungsversorgung konstant verläuft.



Legende

- 1 elektrische Stromversorgung – Wechselspannung
- 2 Innenelektrode
- 3 Entladungsspalt
- 4 Dielektrikum
- 5 Außenelektrode

Bild 1 — Beispiel für die Ozonerzeugung in einem elektrischen Wechselfeld in einem einzigen Entladungsspalt, der aus konzentrischen Elektroden und einer dielektrischen Barriere besteht

Die Energie der elektrischen Stromversorgung wird jedoch nur teilweise zur Erzeugung von Ozon genutzt. Die überschüssige Energie wird in Wärme umgewandelt, die durch effiziente Kühlung abgeführt werden muss.

Einzelheiten zur Chemie der Ozonerzeugung sind im Abschnitt „Chemie“ beschrieben.

5 Unterscheidungsmerkmale von Ozonerzeugungsanlagen

5.1 Allgemeines

Ozonerzeugungsanlagen werden anhand der Merkmale von 5.2 bis 5.5 unterschieden.

5.2 Bauart der Ozonerzeugungsanlagen

Anlagen in kompakter oder freier Ausführung, d. h. räumlich gruppierte oder getrennte Aufstellung der Ausrüstung (siehe Abschnitt 8).

5.3 Betriebsdruck

Ozonerzeuger können als Unter- oder Überdruckanlagen ausgelegt sein. Die Größe der ozonerzeugenden Bauteile hängt im Wesentlichen von der Betriebshäufigkeit sowie von den Druckverhältnissen in der Entladungskammer ab. Ozon-Systeme können als Unterdruck- oder Überdruckanlagen nach 3.11 bzw. 3.12 ausgeführt werden.

5.4 Einsatzgas

Die folgenden Einsatzgastypen müssen als Vorläufer für die Erzeugung von Ozon verwendet werden; zu den Reinheitsanforderungen an das Einsatzgas siehe 9.2:

- a) Umgebungsluft;
- b) Sauerstoff.

5.5 Kühlung des Ozonerzeugers

Luftkühlung:	Konvektions- oder Saugluftkühlung
Flüssigkeitskühlung:	z. B. Wasser (Kühlung durch direkte Ableitung oder durch Kühlkreislauf), Kühlsole

6 Technische Daten der Ozonerzeugungsanlage

Die Ozonerzeugungsanlage muss durch die folgenden technischen Daten spezifiziert werden, die in der Betriebsanleitung angegeben werden müssen:

- a) Hersteller oder Vertreiber und Bezeichnung des Anlagentyps/-modells;
- b) Einsatzgastyp und Druckbereich¹ sowie Reinheits- und Qualitätsanforderungen;
- c) maximal zulässiger Taupunkt des Einsatzgases in der direkten Zuleitung zum Ozonerzeuger bei Normtemperatur und -druck, in °C;
- d) Volumenstrom des Einsatzgases bei der direkten Zuführung zum Ozonerzeuger bei Normtemperatur und -druck für die Nennausbeute der Ozonerzeugung, in m³_n/h;
- e) Typ, Volumenstrom, in l/h oder m³/h, und Temperatur, in °C, des Kühlmittels sowie sonstige Qualitätsanforderungen an das Kühlmittel;

1 in MPa [rel], Angabe des Unterdrucks als negativer Zahlenwert

- f) höchster zulässiger Druck des Kühlmittels, in MPa;
- g) Nennausbeute der Ozonerzeugung, in g/h, bei der Nenn-Ozonkonzentration, in g/m³_n (das Volumen ist auf die Normtemperatur und den Normdruck bezogen);
- h) Einstell- oder Regelbereich der Ozonerzeugung, in g/h oder in % der Nennausbeute, stufenweise oder kontinuierlich;
- i) Betriebsdruck des Ozonerzeugers; höchster zulässiger Unter- oder Überdruck, in MPa²;
- j) Daten zur Stromversorgung der Ozonerzeugungsanlage: Spannung, in V, Stromstärke, in A, Versorgungsscheinleistung, in VA, und Frequenz, in Hz;
- k) spezifische Energie (bei Hochspannungsversorgung) (Wh oder kWh) zur Erzeugung von 1 g oder 1 kg Ozon aus dem zugeführten Einsatzgas (aus Vergleichsgründen nicht berücksichtigt: die für die Vorbehandlung des Einsatzgases usw. verbrauchte elektrische Energie);
- l) Hauptabmessungen der Anlage, in m oder mm;
- m) Betriebsgewicht der Anlage, in kg;
- n) höchste und niedrigste zulässige Umgebungstemperatur, in °C, und höchste relative Luftfeuchte, in %, im Aufstellungsraum.

7 Typenschild

Auf einem an der Ozonerzeugungsanlage angebrachten Typenschild müssen mindestens folgende Informationen deutlich und dauerhaft angegeben werden:

- a) Hersteller oder Vertreiber, einschließlich der Adresse;
- b) Bezeichnung des Modells, der Serie oder des Typs;
- c) Bezeichnung der Anlage (z. B. Ozonerzeugungsanlage);
- d) Herstellungsjahr;
- e) Typ-, Chargen- oder Seriennummer;
- f) CE-Kennzeichnung;
- g) Einsatzgastyp;
- h) Nennausbeute der Ozonerzeugung, in g/h oder in kg/h;
- i) Volumenstrom des Einsatzgases am Messpunkt bei Normtemperatur und -druck für die Nennausbeute der Ozonerzeugung, in m³_n/h;
- j) Daten der Stromversorgung, in V, A, VA, Hz;
- k) zulässiger Betriebsdruck des Ozonerzeugers, in MPa³.

2 in MPa [rel], Angabe des Unterdrucks als negativer Zahlenwert

3 in MPa [rel], Angabe des Unterdrucks als negativer Zahlenwert

8 Ausrüstung und Werkstoffe von Ozon-Systemen

8.1 Allgemeines

Ozon-Systeme können die in 8.2 bis 8.5 angegebene Ausrüstung enthalten.

8.2 Ausrüstung für die Zufuhr von Einsatzgas

Die erforderliche Ausrüstung wird nach Art und Beschaffenheit des Einsatzgases festgelegt, das zur Erzeugung von Ozon verwendet werden soll.

Anlagen, die mit Umgebungsluft als Einsatzgas betrieben werden, benötigen unter Umständen Ausrüstung für den Betrieb mit trockener Luft. Diese Art von Ausrüstung umfasst ein Adsorbersystem, das mit einem feuchtigkeitsadsorbierenden Material gefüllt ist und durch das das Einsatzgas geleitet wird, gegebenenfalls mit vorgeschalteten oder nachgeschalteten Kühlaggregaten. Das Adsorptionsmaterial sollte regenerativ sein. Für den Betrieb mit trockenen Einsatzgasen (Taupunkt bei Normtemperatur und -druck unter -45 °C) ist keine Trocknungseinrichtung erforderlich. Je nach technischer Ausführung des Ozonerzeugers wird dieser Teil der Anlage mit Unter- oder Überdruck betrieben; die Ausrüstung für den Gastransport muss entsprechend dieser Bedingung umgesetzt werden.

Bei Anlagen, die mit Sauerstoff betrieben werden, können zusätzlich stickstoffzuführende Bestandteile eingesetzt werden.

8.3 Ausrüstung zur Kühlung des Ozonerzeugers

Um die bei der Erzeugung von Ozon im Ozonerzeuger entstehende Wärme abzuführen, sind Kühlgeräte erforderlich, bei denen die Wärme durch Gase, Flüssigkeiten oder Wärmestrahlung abgeführt werden kann.

8.4 Werkstoffe

8.4.1 Werkstoffe für Bauteile, die mit Einsatzgas in Berührung kommen

Die Werkstoffe der Ausrüstung müssen für die Zufuhr von Einsatzgas geeignet sein. Die Werkstoffe müssen fett- und ölfrei sein, wenn Sauerstoff als Einsatzgas verwendet wird.

8.4.2 Werkstoffe für Bauteile, die mit Ozon in Berührung kommen

Nichtrostender Stahl, z. B. Werkstoffnummern 1.4571, 1.4404, 1.4307 (auch SS 316L bzw. SS 304L genannt); Aluminium, z. B. Al 99,8; Keramik oder Glas, geeignete Kunststoffe, z. B. Polytetrafluorethylen (PTFE) und für die Erzeugung von Ozon aus Luft Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U)⁴. Als Dichtungsmaterialien können ozonbeständige Polymere verwendet werden, z. B. Polytetrafluorethylen (PTFE) sowie, unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen, auch Chlorsulfonylpolyethylen (CSM), Fluorkautschuk (FPM oder FKM), Perfluorelastomer (FFPM oder FFKM), ozonbeständiger Ethylen-Propylen-Dien-Monomer-Kautschuk (EPDM) und ozonbeständige Silikone.

8.5 Elektrische Ausrüstung

Elektrische Geräte und Maschinen müssen mit der Mindestschutzart IP21 nach EN 60529 ausgeführt werden, wenn der Aufstellungsort keine höhere Schutzart erfordert, z. B. IP53. Ermöglichen diese Geräte und Maschinen keinen direkten Zugang, ist IP00 nach EN 60529 ausreichend, sofern die elektrotechnische Sicherheitsnorm für diesen Raumtyp eingehalten wird.

4 PVC-U-Werkstoffe, die für Ozongasleitungen verwendet werden, sind nur für Unterdruckanlagen geeignet, um ein Ausströmen von Ozon im Falle einer Leckage in den Leitungen zu verhindern. Bei der Verwendung von PVC-U-Leitungen für Überdruckanlagen können zusätzliche Sicherheitsanforderungen, wie z. B. eine Leckageüberwachung, erforderlich sein.

8.6 Steuerung und Überwachung

Die Steuerung und Überwachung einer Ozonerzeugungsanlage und eines Ozon-Systems muss leicht zugänglich sein, und die wesentlichen Parameter müssen deutlich gekennzeichnet sein. Die Steuerung und Überwachung soll den Betreiber bei der Überwachung und Steuerung des laufenden Betriebs unterstützen und nützliche Basisinformationen für Wartungszwecke liefern.

Die Sicherheitsanforderungen für die Installation und den Betrieb müssen den Bestimmungen von Abschnitt 13 entsprechen.

Nützliche Kontroll- und Überwachungsparameter für eine Ozonerzeugungsanlage können sein:

- a) Status der Ozonerzeugungsanlage (z. B. OK/Nicht OK);
- b) Einstellung der Erzeugerausbeute (z. B. 0 % bis 100 %, oder die aktuelle Ozonausbeute in g/h oder kg/h);
- c) Status der Erzeugerkühlung (z. B. OK/Nicht OK, oder Temperatur oder Volumenstrom des Kühlmittels);
- d) Durchfluss des Einsatzgases (Volumen- oder Massenstrom);
- e) Druck des Einsatzgases;

Nützliche Steuerungs- und Überwachungsparameter für ein Ozon-System können sein:

- f) Ausbeute des Systems (z. B. 0 % bis 100 %, g Ozon je Stunde, Ozonkonzentration, gelöstes Ozon in Wasser, ORP-/Redox-Wert oder ähnliches);
- g) Bei Nutzung für die Wasseraufbereitung Angaben zu den Parametern des Ozonauflösungssystems (z. B. Wasserdruck, Wasservolumenstrom, Pumpenbetrieb usw.).

9 Chemie

9.1 Chemie der Ozonerzeugung

Der Prozess der Ozonerzeugung mittels der Technologie der stillen elektrischen Entladung (DBD) aus dem Einsatzgas, d. h. Umgebungsluft oder Sauerstoff als Vorläufer, ist mit etwa 300 Reaktionen, die möglicherweise zu berücksichtigen sind, recht komplex. Unter optimierten Bedingungen führt die größte Fraktion der im elektrischen Feld gewonnenen Elektrodenenergie zu angeregten atomaren und molekularen Zuständen von Sauerstoff (Einsatzgase: O₂ und Umgebungsluft) und Stickstoff (Einsatzgas: Umgebungsluft).

Die angeregten Zustände O₂^{*} des Sauerstoffs O₂ werden erzeugt und dissoziieren anschließend entsprechend den vereinfachten Reaktionen Gleichung (1) und Gleichung (2):



Die Ozonbildung wird durch eine Dreikörperreaktion, Gleichung (3), erleichtert, wobei M ein Kollisionspartner ist: O₂, O₃, O und N₂ bei Umgebungsluft oder bei Hinzufügung von N₂.



O₃^{*} ist der ursprüngliche, transiente angeregte Zustand von Ozon. Seine Anregungsenergie muss in kinetische Energie der Moleküle O₃ und M umgewandelt werden, um das O₃-Molekül zu stabilisieren. Der Kollisionspartner M ist für diesen Prozess aus physikalischen Gründen zwingend erforderlich, um die Impulserhaltung zu gewährleisten. N₂, das als „dritter Kollisionspartner“ fungiert, hat die beste Wirksamkeit zur Stabilisierung des O₃-Moleküls.

Wird Umgebungsluft als Einsatzgas verwendet, erhöhen mehrere Stickstoffarten wie N^* , N_2^* , N und andere angeregte atomare und molekulare Arten die Komplexität des Reaktionssystems. Dies führt zu zusätzlichen Reaktionen, an denen Stickstoffatome und angeregte molekulare Zustände von N_2 beteiligt sind.

Sauerstoff, der den Vorteil bietet, dass er fast fünfmal mehr Sauerstoff enthält als die Umgebungsluft, wird häufig als Einsatzgas bevorzugt. In industriellen Anwendungen wird er entweder in Behältern als Flüssigsauerstoff (LOX) angeliefert oder vor Ort („konzentriert“) aus Umgebungsluft hergestellt, in der Regel durch Druckwechseladsorption (PSA, en: pressure swing adsorption), Vakuumwechseladsorption (VSA, en: vacuum swing adsorption) oder Vakuumdruckwechseladsorption (VPSA, en: vacuum pressure swing adsorption). Enthält der Sauerstoffvorläufer nicht genügend Stickstoff, kann etwas Luft oder Stickstoffgas als Zusatzgas für eine effiziente und stabile Ozonerzeugung hinzugefügt werden, da der Stickstoff als „dritter Kollisionspartner“ die Ozonerzeugungsreaktion verbessert.

Bild 2 zeigt eine vollständige Prozessübersicht für die Wasseraufbereitung mit Ozon, das aus dem in verschiedenen Einsatzgasen (Einsatzgas O_2 oder Einsatzgas Luft) enthaltenen Sauerstoff erzeugt wird. Hinsichtlich der Anforderungen an die Betriebssicherheit von Ozon-Systemen siehe Abschnitt 13, insbesondere wenn die Ozonzersetzung innerhalb des Behandlungssystems unvollständig ist.

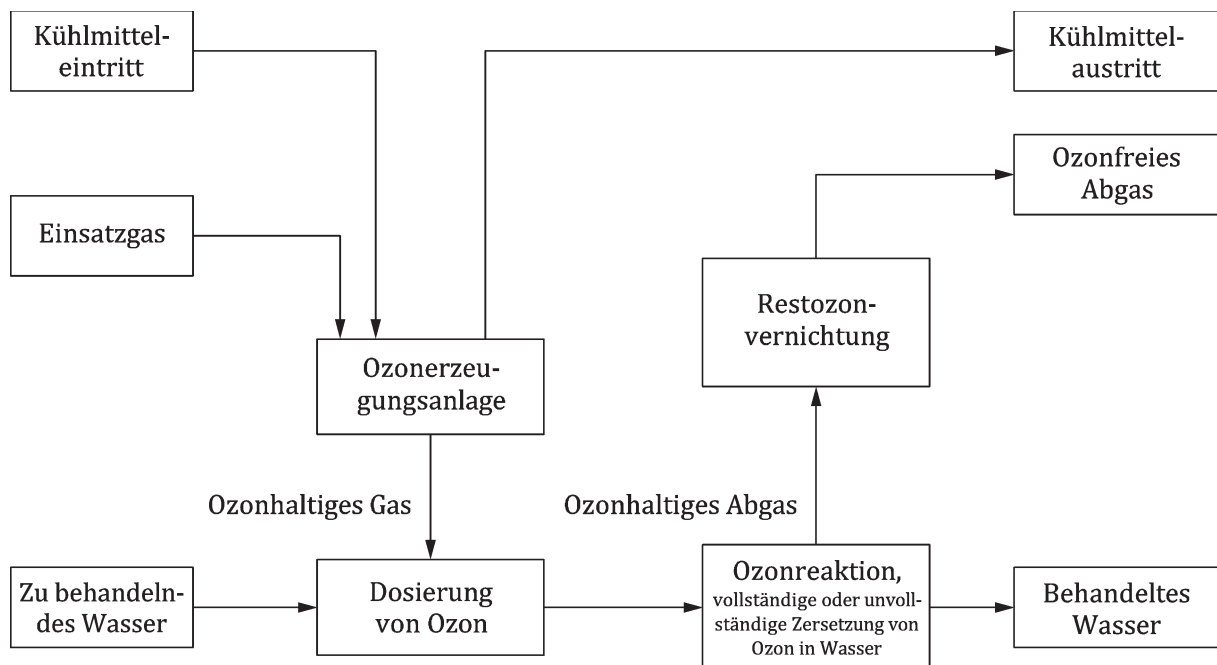


Bild 2 — Prozess der Ozonerzeugung und Wasseraufbereitung

Die Einsatzgase (Luft oder Sauerstoff) sollten in der Regel trocken sein und keine Partikel enthalten, um unerwünschte Auswirkungen auf die Ozonerzeugung zu vermeiden. Daher wird die Umgebungsluft durch einen Lufttrockner und einen Staubfilter konditioniert, bevor sie dem Ozonerzeuger zugeführt wird. Die stille elektrische Entladung (DBD) erzeugt Ozon in mittleren bis hohen Konzentrationen (üblicherweise bis zu etwa 21 % w/w) und wird am häufigsten in industriellen Anwendungen eingesetzt.

Die Nenn-Ozonkonzentration bei Verwendung von sauberer, trockener Luft beträgt üblicherweise 20 g Ozon je m^3_n Prozessgas = etwa 1,5 % w/w (in der Praxis kann sie bis zu 70 g/ m^3_n = etwa 5,3 % w/w betragen).

Die Nenn-Ozonkonzentration bei Verwendung von Sauerstoff als Einsatzgas beträgt üblicherweise 100 g Ozon je m^3_n Prozessgas = etwa 7 % w/w (in der Praxis kann sie bis zu 300 g/ m^3_n = etwa 21 % w/w betragen).

Die erzeugte Menge an Ozon und die Effizienz eines DBD-Ozonerzeugers werden von vielen Faktoren bestimmt: Elektrodenkonstruktion (Elektrodengeometrie, Oberfläche und dielektrisches Material), angelegte

Spannung/elektrische Leistung, Qualität (Trockenheit und Sauberkeit) und Einsatzgastyp (Sauerstoff oder Luft), Druck des Einsatzgases im Spalt und Temperatur/Kühlung des Erzeugungsprozesses:

- 1) Angelegte Spannung/elektrische Leistung: Je höher die angelegte Spannung/elektrische Leistung ist, desto höher ist die Ozonkonzentration (g/m^3_n) und die Ozonkapazität (g/h).
- 2) Luft-/Sauerstoffvolumenstrom: Je höher der aktuelle Luft-/Sauerstoffvolumenstrom ist, desto höher ist die Ozonkapazität, aber desto niedriger ist die Ozonkonzentration im Ozongas.
- 3) Spezifische Energie: Die spezifische Energie ist die Energiemenge (Wh), die erforderlich ist, um 1 g Ozon zu erzeugen. Die spezifische Energie eines Ozonerzeugers ist konstant, wenn er mit einem geringeren Prozentsatz seiner Nennkapazität betrieben wird. Beim Betrieb mit höherem Prozentsatz (bis zu 100 % der Nennkapazität) erhöht sich die spezifische Energie, was darauf hinweist, dass die höhere eingesetzte Leistung zu einem Anstieg der Innentemperatur des Ozonerzeugers führt. Aufgrund dieses Temperaturanstiegs zersetzt sich ein Teil des Ozons, so dass mehr Energie je Gramm Ozon benötigt wird.
- 4) Einsatzgasdruck: Die Elektrodengeometrie (insbesondere die Spaltbreite) des Erzeugers wird für den Betrieb bei dem vorgesehenen Betriebsdruck optimiert, d. h. bei Über- oder Unterdruck (Druck in Bezug auf den atmosphärischen Druck), um eine hohe Kapazität und eine hohe Konzentration sowie eine niedrige spezifische Energie zu erreichen. Üblicherweise liegt der Betrieb bei Unterdruck bei etwa -30 hPa bis -50 hPa, rel. Bei Erzeugern, die für den Betrieb bei Überdruck ausgelegt sind, liegt die maximale Ausbeute meist bei Drücken von etwa 0,07 MPa bis 0,3 MPa, rel (= 0,7 bar bis 3,0 bar, rel).
- 5) Betriebsfrequenz der Hochspannung/Stromversorgung: Da bei jedem Wechsel der Polarität der Hochspannung Ozon erzeugt wird, steigt der Stromverbrauch mit der Betriebsfrequenz, wenn die Hochspannung konstant gehalten wird. Wird dagegen der Stromverbrauch durch Steuerung der Hochspannung konstant gehalten, sind die Ozonkapazität und -konzentration in einem bestimmten Bereich annähernd unabhängig von der Betriebsfrequenz.

9.2 Reinheitsanforderungen an das Einsatzgas

Zur Erzeugung von Ozon mit der in 9.1 beschriebenen Nenn-Ozonkonzentration ist das für die Ozonerzeugung verwendete Einsatzgas möglicherweise vorzubehandeln, damit es folgende Anforderungen erfüllt:

- a) Umgebungsluft: üblicherweise 21 % Sauerstoff, 78 % Stickstoff, partikelfrei, ölfrei (Restölgehalt (Kohlenwasserstoff) $< 0,01 \text{ mg/m}^3$). Die Umgebungsluft kann getrocknet werden, um ihre Feuchte zu verringern, bevor aus ihr Ozon erzeugt wird. Luft gilt als trocken, wenn die Restfeuchte einem Taupunkt unter -45°C bei Normtemperatur und -druck entspricht.
- b) Druckluft: siehe a).
- c) Vor Ort aus Umgebungsluft durch einen Sauerstoffherzeuger erzeugter Sauerstoff: $\geq 80\%$ Sauerstoff, $\leq 20\%$ Stickstoff, partikelfrei, ölfrei (Restölgehalt $< 0,01 \text{ mg/m}^3$), Taupunkt unter -45°C bei Normtemperatur und -druck, Kohlenwasserstoffe: max. 50 ppm (nach EN 12876).
- d) Gasförmiger Sauerstoff⁵, z. B. aus Druckgasflaschen, Qualität nach EN 12876.
- e) Flüssigsauerstoff⁶ (LOX), z. B. aus Druckbehältern, Qualität nach EN 12876.

5 Die Reinheitsanforderung gilt nur für Sauerstoff, der nicht als Biozidprodukt nach den Bestimmungen der BPR in Verkehr gebracht wird

6 Die Reinheitsanforderung gilt nur für Sauerstoff, der nicht als Biozidprodukt nach den Bestimmungen der BPR in Verkehr gebracht wird

9.3 Chemie der Reaktionsnebenprodukte der Ozonerzeugung

Um Ozon mit ausreichender Reinheit zu erzeugen, kann das für die Ozonerzeugung verwendete Gas mechanisch oder durch Adsorption gereinigt und durch die Ausrüstung in der Ozonerzeugungsanlage getrocknet werden. Einsatzgase gelten unterhalb eines Taupunkts von -45 °C bei Normtemperatur und -druck als trocken.

Die Reinheitsanforderungen an das Einsatzgas hinsichtlich des Partikel- und Kohlenwasserstoffgehalts sowie die Anforderungen an den Taupunkt müssen nach 9.2 und nach den Angaben des Herstellers der Ozonerzeugungsanlage erfüllt werden.

Bei der Erzeugung von Ozon aus Luft entstehen zwangsläufig geringe Mengen der Stickoxide N_2O und N_2O_5 . Die beteiligten transienten Stickoxide NO , NO_2 und NO_3 reagieren mit dem Ozon und bilden dabei Distickstoffpentoxid (N_2O_5).

Distickstoffoxid (N_2O), auch als Lachgas bekannt, ist ein ungiftiges, nicht brennbares Gas, das sehr stabil ist und bei Raumtemperatur keinerlei chemische Aktivität aufweist.

Wird nicht oder nur unzureichend getrocknete Luft verwendet, reagiert N_2O_5 mit dem aufgrund der Luftfeuchte vorhandenen Wasser und bildet Salpetersäure (HNO_3) [1] [2].



Die Salpetersäure selbst kann sich im Ozonerzeuger ansammeln und Korrosion verursachen. Die Bildung von Salpetersäure wird durch die Verwendung von getrockneter Luft wirksam verhindert. Außerdem sinkt durch das Trocknen der Luft der Energiebedarf für die Ozonerzeugung.

So wird die Ozonausbeute durch die Zugabe von z. B. 0,1 % bis 2,0 % Stickstoff (N_2) bei der Erzeugung von Ozon aus reinem Sauerstoff verbessert, wie in Gleichung (3) angegeben. Insbesondere bei Anlagen mit hoher Ausbeute kann der zusätzliche Schritt der Stickstoffzugabe aus wirtschaftlicher Sicht von Vorteil sein.

9.4 Chemie der Nebenprodukte von in Wasser dosiertem Ozon

Wird Ozon in das zu behandelnde Wasser eingebracht, werden auch die geringen Mengen an erzeugten Stickoxiden in das Wasser übertragen. Nach Gleichung (4) bildet das Wasser schnell geringe Konzentrationen von Nitrat (NO_3^-).

Beispiel: Ozongas enthält bis zu 1 % w/w N_2O_5 [1]; die Zugabe von 1 mg/l O_3 zu Wasser führt zu einer Zugabe von bis zu 0,01 mg/l N_2O_5 . Nach Gleichung (4) führt die Zugabe von 0,01 mg/l (entspricht 10 µg/l) N_2O_5 zur Bildung von 11,5 µg/l Nitrat (NO_3^-) im Wasser. Bei bewährten Praktiken beträgt die Menge an Stickstoffoxiden, einschließlich Salpetersäure, ausgedrückt als N_2O_5 , weniger als 5 mg/g Ozon, was 0,5 % w/w entspricht (EN 1278:2010-08).

Zudem kann Ozon an der Entnahmestelle mit Inhaltsstoffen des behandelten Wassers reagieren. Die möglichen Reaktionen hängen von den einzelnen spezifischen Eigenschaften des Wassers ab, z. B. von der Zusammensetzung, dem pH-Wert oder der Temperatur. Neben den beabsichtigten Reaktionen mit Ozon können Nebenprodukte, die durch nicht beabsichtigte Ozonreaktionen entstanden sind, berücksichtigt werden.

Beispiel Bromid: Bromid (Br^-) ist in allen Wasserquellen in Konzentrationen von $\sim 10\text{ µg/L}$ bis $> 1\,000\text{ µg/L}$ in Süßwasser und etwa 67 mg/L in Meerwasser vorhanden. Bei der Ozonisierung von bromidhaltigem Wasser wird im Allgemeinen Bromat gebildet. Der Bildungsprozess hängt jedoch stark vom pH-Wert des Wassers ab; eine Ozonbehandlung bei neutralem oder niedrigerem pH-Wert hemmt die Bildung von Bromat wirksam [3] [4].

10 Dosierung von Ozon

Das Ozon wird mit Hilfe eines Mischsystems in das Wasser dosiert. Das Ozon muss dem Wasser mit Hilfe eines Systems zugesetzt werden, das auf das gesamte Wasserbehandlungssystem mit Unter- oder Überdruck abge-

stimmt ist. Das Ozon kann in einem ersten Schritt einem Teilstrom oder direkt dem Gesamtstrom des zu behandelnden Wassers beigemischt werden. In jedem Fall muss das Mischsystem das eingebrachte Ozon schnell und gleichmäßig mit dem Gesamtstrom des zu behandelnden Wassers vermischen und das Ozon somit im Wasser auflösen. Hohe Ozonkonzentrationen verbessern den Massenübergang von Ozon an das Mischsystem aus der Gasphase in das Wasser; eine Ozonkonzentration von etwa $20 \text{ g/m}^3_{\text{n}}$ wird bei der Verwendung von Luft empfohlen, und $100 \text{ g/m}^3_{\text{n}}$ werden bei der Verwendung von Sauerstoff zur Ozonerzeugung empfohlen.

In geeigneten Fällen wird die Ausbeutekapazität einer Ozonanlage während des Betriebs entsprechend dem aktuellen Ozonbedarf gesteuert. Um eine optimale Mischeffizienz des aus Luft erzeugten Ozons auch bei reduzierter Ozonausbeute zu erreichen, kann der Volumenstrom des Einsatzgases an die aktuelle Ozonausbeute angepasst werden, um die Ozonkonzentration in der Gasphase so hoch wie möglich zu halten. Ein Beispiel für die Umsetzung eines solchen variablen Mischsystems ist in Anhang A angegeben.

Die Reaktionszeit des Ozons mit Wasserinhaltsstoffen und Mikroorganismen muss durch eine sofortige und homogene Durchmischung mit dem Ozon im gesamten Strom minimiert werden. Durch diese Maßnahmen können die Reaktions- und Desinfektionsvolumina (berechnet aus Gesamtstrom und erforderlicher Einwirkzeit) unter Berücksichtigung der vollständigen Verwertung des injizierten Ozons klein gehalten werden. Beispiele für Misch- und Reaktionssysteme sind in Anhang A dargestellt.

Wird der Druck im gesamten ozonführenden Wassersystem hinter dem Mischsystem niedrig gehalten, erleichtert dies die Entfernung des überschüssigen, nicht verbrauchten Ozon-/Einsatzgas-Gemischs aus dem Wasser. Innerhalb des Reaktionssystems sollte der Druck auf dem gleichen Niveau wie in der Durchmischungszone gehalten werden, um den Verlust von Ozon für Desinfektions- oder Oxidationsverfahren zu minimieren.

Der Gehalt des dem Wasser beigemischten Ozons ist konstant und ohne Unterbrechung oder Abfall, wenn die Ozonausbeute der Ozonanlage konstant ist, die Umgebungsbedingungen, z. B. die Wassertemperatur oder der Wasserdruck, stabil sind und schließlich der Wasservolumenstrom konstant ist. Folglich verläuft die beabsichtigte Ozonreaktion, d. h. die Desinfektion oder Oxidation, in diesem Fall konstant. Um ein konstantes Ergebnis der Ozonbehandlung zu erreichen, sind nur Änderungen zu kompensieren, die durch die einzelnen Randbedingungen der Behandlung verursacht werden, z. B. Änderungen des Wasserdurchflusses oder der Wasserqualität. Verfahren zur Messung des Ozongehaltes in Wasser sind in Anhang B angegeben.

11 Aufstellungsort

In Ozonerzeugungsanlagen werden verschiedene elektrische Maschinen und Geräte verwendet, die je nach Aufstellungsort bestimmte Mindestanforderungen erfüllen müssen. Der Schutzgrad der zu verwendenden elektrischen Maschinen und Geräte ist abhängig vom Aufstellungsort.

Die Notwendigkeit eines geschlossenen, verschließbaren Aufstellungsraumes, siehe 3.14, ergibt sich aus der Risikoanalyse der Gesamtanlage und der Berücksichtigung der geltenden Gesetze und Vorschriften.

Die vom Hersteller angegebene Umgebungstemperatur und relative Luftfeuchte dürfen nicht überschritten werden. Eine wirksame Belüftung muss sichergestellt werden. Ätzende Gase, z. B. Salzsäure (HCl) oder Chlor (Cl_2), müssen in der Umgebungsluft vermieden werden.

Räume, aus denen Ozon im Fall einer Störung entweichen kann, müssen wirksam nach Abschnitt 13 überwacht werden.

Die Ozonerzeugungsanlage muss so installiert werden, dass Betrieb, Wartung und Reparaturen ungehindert ausgeführt werden können.

Ein individueller, vom Technikraum getrennter Aufstellungsraum (siehe 3.15) speziell für Ozonerzeugungsanlagen ist nicht erforderlich. Ist jedoch ein individueller Aufstellungsraum für die Ozonerzeugungsanlage verfügbar, so muss bei seiner Klimatisierung die maximale überschüssige Wärme der Ozonerzeugungsanlage, die über die Luft abgeführt wird, berücksichtigt werden, um die Anforderungen des Herstellers an die Umgebungstemperatur und die Luftfeuchte des Aufstellungsraumes zu erfüllen.

12 Kühlmittel

Die Anforderung an die Einlasstemperatur und den Durchfluss des Kühlmittels, z. B. des Kühlwassers, muss sich auf den Anlagenhersteller beziehen, um einen übermäßigen Verlust von erzeugtem Ozon zu vermeiden. Wird Kühlwasser verwendet, werden zur Vermeidung von Ablagerungen die folgenden Richtwerte empfohlen:

- a) Volumenanteil der sich absetzenden Substanzen: $\leq 0,1 \text{ ml/l}$;
- b) Massenkonzentration von Eisen: $\gamma(\text{Fe}) \leq 0,2 \text{ mg/l}$;
- c) Massenkonzentration von Mangan: $\gamma(\text{Mn}) \leq 0,05 \text{ mg/l}$.

Wird Kühlluft verwendet, müssen u. a. die folgenden Parameter entsprechend den Herstellerangaben gewährleistet werden:

- a) der Gasdruck;
- b) der Temperaturbereich.

Bei der Verwendung von metallischen Werkstoffen muss das korrosionschemische Verhalten des Kühlwassers berücksichtigt werden.

Darüber hinaus muss die Neigung des erwärmten Kühlwassers zur Kalkbildung berücksichtigt werden.

Eine Rückführung mit Rückkühlung oder Wiederverwendung des Kühlwassers und Wärmerückgewinnung ist möglich.

Bei der Verwendung von Zusatzstoffen in Kühlmitteln müssen die jeweiligen Anforderungen an die Handhabung und Entsorgung sowie die Eignung des Zusatzstoffs für diesen Zweck, z. B. hinsichtlich Korrosion, beachtet werden.

13 Anforderungen an die Betriebssicherheit von Ozon-Systemen

Die Anforderungen an die Betriebssicherheit beziehen sich auf die Ozonbehandlung in geschlossenen Ozon-Systemen: Bevor das behandelte Wasser das Behandlungssystem verlässt, wird das Restozon im behandelten Wasser abgebaut, z. B. in einem geschlossenen Filter durch Aktivkohle oder in Reaktionszonen, z. B. Reaktionsbecken. Das nicht verbrauchte Abgas, das während des normalen Ozonisierungsverfahrens in einem geschlossenen Kontakttank und/oder in einem nachfolgenden geschlossenen Filter freigesetzt wird, wird über eine Ozon-Entfernungsanlage abgeleitet, so dass es zu einer vernachlässigbaren Freisetzung von Ozon in das Gebäude oder in die Umwelt kommt. Bei offenen Behandlungssystemen gelten zusätzliche Sicherheitsanforderungen, die im Einzelfall zu prüfen sind.

Für den Betrieb einer Ozonerzeugungsanlage sind die technischen Daten nach Abschnitt 6 und die Installations-, Betriebs- und Wartungsanleitung des Herstellers verbindlich.

Die Mindestanforderungen für den sicheren Betrieb nach diesem Dokument beziehen sich auf die Auslegung, die Installation, den Betrieb und die Wartung von Ozon-Systemen. Für ihren Einsatz ist eine Sicherheitsbewertung nach EN ISO 13849-1 und EN 13849-2 erforderlich. Grundsätzlich sind die nachfolgenden Risikobereiche, die spezifisch für Ozon-Systeme sind, abzudecken.

- a) Die Ozonerzeugung erfordert Hochspannung. Ozonerzeugungsanlagen müssen so ausgelegt werden, dass der Kontakt von Personen mit Hochspannung oder mit hochspannungsführenden Teilen ausgeschlossen werden kann. Gegebenenfalls muss die Hochspannung beim Öffnen der Anlagentür unverzüglich durch Schaltelemente mit dem entsprechenden Sicherheitsniveau nach EN ISO 13849-1 und EN ISO 13849-2 abgeschaltet werden.

b) Ozon ist ein giftiges Gas. Die Freisetzung von Ozon in die Umgebungsluft muss vermieden werden. Im Falle einer Störung können grundsätzlich folgende Szenarien eintreten:

- 1) Ozon tritt aus der Ozongasleitung des Ozon-Systems aus;
- 2) Ausfall der Restozon-Entfernungsanlage mit unbeabsichtigtem Austritt von ozonhaltigem Abgas in den Aufstellungsraum;

Das von Ozon befreite Abgas besteht im Wesentlichen aus Luft/Sauerstoff; es muss daher in die Atmosphäre abgeleitet werden. Dadurch wird eine Akkumulation von Sauerstoff oder Ozon im Aufstellungsraum (im Fall einer Störung der Restozon-Entfernungsanlage) vermieden.

- 3) ozonhaltiges Wasser tritt aus der Wasserleitung des Ozon-Systems aus, und aus dem Wasser verdampft das Ozon in den Aufstellungsraum.
- c) Wird Sauerstoff als Einsatzgas verwendet, müssen zwei zusätzliche Risikoszenarien berücksichtigt werden:
- 1) Aufgrund seiner oxidierenden Eigenschaften kann Sauerstoff zur Selbstentzündung von organischem Material führen, das z. B. in Dichtungen oder Schmiermitteln verwendet wird. Um eine spontane Entzündung zu verhindern, müssen alle Teile, die mit Sauerstoff in Berührung kommen, sauerstoffbeständig und fettfrei sein.

- 2) Ein erhöhter Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre beeinflusst das Brandverhalten von brennbaren Gegenständen bis hin zur Selbstentzündung, z. B. der Kleidung von Personen, die in diesen Bereichen arbeiten. Ein verminderter Sauerstoffgehalt führt zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen bis hin zur Bewusstlosigkeit. Ein erhöhter ($>22,5\% \text{ v/v}$) oder verminderter ($<19,5\% \text{ v/v}$) Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre rund um das Ozon-System muss vermieden werden. Erhöhte Sauerstoffgehalte können durch Undichtigkeiten in der Sauerstoffzufuhr oder durch eine falsch installierte Restozonvernichtung (z. B. Austritt des Abgasstroms in den Aufstellungsraum) entstehen. Ein verminderter Sauerstoffgehalt kann z. B. auftreten, wenn ein Sauerstoffanreicherungssystem sein sauerstofffreies Abgas in den Aufstellungsraum abgibt. Bereiche, bei denen das Risiko einer zu hohen oder zu niedrigen Sauerstoffkonzentration besteht, müssen mit einem Gaswarngerät, das die Einhaltung einer Sauerstoffkonzentration von $19,5\%$ bis $22,5\% \text{ (v/v)}$ überwacht, ausgestattet werden.

Je nach Betriebsdruck und Nennausbeute der Ozonerzeugungsanlage müssen die Risikoprofile für die Freisetzung von Ozon unterschiedlich bewertet werden.

- Unterdruckanlagen nach 3.11: Die Freisetzung von Ozon aus dem Gasraum in die Luft des Aufstellungsraumes ist physikalisch unmöglich.
- Überdruckanlagen nach 3.12: Die Freisetzung von Ozon aus dem Gasraum in die Luft des Aufstellungsraumes ist im Störfall grundsätzlich möglich. Das Risiko der Ozonfreisetzung muss sowohl durch konstruktive als auch durch betriebliche Maßnahmen minimiert werden. Konstruktive Maßnahmen sind z. B. die Verwendung von unlösbaren (z. B. geschweißten, gelöteten) Verbindungen und lösbaren Verbindungen, z. B. mit Schneid- und Klemmringanschlüssen $\leq \text{DN } 32$ oder NPT-Gewinden $\leq \text{N } 50$, oder anderen für den sicheren Betrieb geeigneten lösbaren Verbindungen. Betriebliche Maßnahmen sind z. B. eine geeignete Überwachung und Reparatur bzw. der Austausch von Teilen.
- Bei sehr kleinen Unterdruckanlagen nach 3.11 (maximale Ausbeute 2 g/h): Das Risiko, dass Ozon aus dem Ozon-System freigesetzt wird, ist minimal.
- Das Risikoprofil von Restozon-Entfernungsanlagen als Bestandteil von Ozon-Systemen von $\leq 500 \text{ g/h}$ entspricht dem Risikoprofil von Überdruckanlagen nach 3.12 von $\leq 100 \text{ g/h}$, siehe auch Tabelle 1.

- Im Allgemeinen ist das Risiko der Freisetzung von Ozon infolge von Leckagen aus einer ozonhaltigen Wasserleitung gering und muss im Einzelfall berücksichtigt werden, z. B. durch eine geeignete Überwachung in der Betriebsphase.

Die Freisetzung von Ozon in den Aufstellungsraum kann durch Gaswarngeräte festgestellt werden. Um Fehlalarme aufgrund von natürlich vorkommendem Ozon in der Luft zu vermeiden, kann es erforderlich sein, die Alarmschwelle über den Schwellengrenzwert (TLV) von $0,06 \text{ ppm} = 0,06 \times 10^{-6}$ (Volumenanteil) $= 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁷ einzustellen, der den Grenzwert für die gewerbliche Verwendung von Ozon darstellt. Bei privater Nutzung beträgt der TLV $0,025 \text{ ppm} = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁸. Befindet sich der Sensor an der Stelle, an der im Falle einer Störung die höchste Ozonkonzentration zu erwarten ist, z. B. in der Nähe der Ozonerzeugungsanlage bei Überdruckanlagen, und in der Nähe der Restozon-Entfernungsanlage, darf die Alarmschwelle des Gaswarngeräts auf eine höhere Ozonkonzentration als den TLV eingestellt werden. Häufige Fehlalarme sind gefährlicher als ein höherer Schwellengrenzwert, weil sich die Menschen daran gewöhnen und bei einem „echten“ Alarm nicht angemessen reagieren. Daher kann das Gaswarngerät auf einen höheren Wert als den TLV von bis zu $1,0 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,5 \text{ ppm}$ programmiert werden.⁹

Im Falle eines Ozonalarms kann die Luft im Technikraum durch eine Raumlüftung abgeführt werden; die Notwendigkeit der Installation einer Raumlüftung ergibt sich aus Tabelle 1 oder aus einer fallbezogenen Risikoanalyse. Ist eine Raumlüftung erforderlich, muss die Raumlüftung bei Ansprechen des Gaswarngerätes automatisch aktiviert werden. Die Raumlüftung muss bei Ozonaustritt zumindest einen dreimaligen Luftwechsel je Stunde gewährleisten und eine Ozonbelastung in Nebenbereichen verhindern.

ANMERKUNG Eine permanent laufende Belüftung kann dazu führen, dass die Ozonsensoren von Gaswarngeräten laufende Ozonleckagen nicht erkennen und somit das Auffinden der Leckagen verhindern, wodurch die Betriebssicherheit vermindert wird.

Die Mindestanforderungen für den Schutz gegen eine unbeabsichtigte Freisetzung von Ozon sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Mindestanforderungen für den Schutz gegen eine unbeabsichtigte Freisetzung von Ozon¹⁰

Risikoprofil	Gaswarngerät	Raumlüftung
Unterdruckanlage $\leq 2 \text{ g}/\text{h}^{\text{a}}$	—	—
Unterdruckanlage $> 2 \text{ g}/\text{h}$	+	—
Überdruckanlage $\leq 100 \text{ g}/\text{h}$	+	—
Überdruckanlage $> 100 \text{ g}/\text{h}$	+	+
Restozon-Entfernungsanlage für Ozonerzeugungsanlagen bei $\leq 500 \text{ g}/\text{h}$	+	—

⁷ ECHA, Ausschuss für Biozidprodukte (BPC): 'Opinion on the application for approval of the active substance: Ozone generated from oxygen, Product types: 2, 4, 5 and 11', angenommen am 1. Dezember 2021, verfügbar unter www.echa.europa.eu

⁸ ECHA, Ausschuss für Biozidprodukte (BPC): 'Opinion on the application for approval of the active substance: Ozone generated from oxygen, Product type: 2', angenommen am 1. Dezember 2021, verfügbar unter www.echa.europa.eu

⁹ ECHA, Ausschuss für Biozidprodukte (BPC): 'Opinion on the application for approval of the active substance: Ozone generated from oxygen, Product types: 2, 4, 5 and 11', angenommen am 1. Dezember 2021, verfügbar unter www.echa.europa.eu

Tabelle 1 (*fortgesetzt*)

Risikoprofil	Gaswarngerät	Raumlüftung
Restozon-Entfernungsanlage für Ozonerzeugungsanlagen ^b bei > 500 g/h	+	+
ANMERKUNG Ozon-Systeme für die private Nutzung müssen Unterdruckanlagen nach 3.11 sein.		
^a Bei privater Nutzung ist ein Gaswarngerät obligatorisch		
^b Ozonerzeugungsanlagen je Gerät/Erzeugungskreislauf > 500 g/h		

Die Ozonerzeugungsanlage muss sich automatisch abschalten, wenn am Aufstellungsort ein zu hoher Ozongehalt festgestellt wird. Es können weitere Sicherheitsmaßnahmen auf der Grundlage einer fallabhängigen Risikoanalyse erforderlich sein, z. B. ein außerhalb des Aufstellungsbereichs oder in der Nähe der Tür des Technikraums installierter Notschalter.

14 Betrieb und Wartung

Anlagenhersteller müssen geeignete Angaben zum Einsatz der Ozonerzeugungsanlage und weiteren Ozon-Systemen zur Verfügung stellen, die genaue Vorgaben für den Installateur und den Nutzer hinsichtlich Einbau, Betrieb und Wartung enthalten müssen. Installateure und Bedienpersonal sollten die Anweisungen der Betriebs- und Wartungsanleitung befolgen. Die Anlage und die Ausrüstung müssen von einer befähigten Person auf der Grundlage der Herstelleranforderungen in Betrieb genommen werden. Ist die Ozonerzeugungsanlage leicht zu handhaben und besteht keine Gefahr einer Ozonbelastung oder eines elektrischen Schlages, ist auch eine Inbetriebnahme durch den Betreiber auf der Grundlage der Herstellerempfehlung möglich sein. Umfang und Häufigkeit von Funktionsprüfungen und Kontrollen vor Ort während der Installation, des Betriebs und der Wartung müssen vom Hersteller detailliert zu beschrieben werden.

Einschlägige normative Vorgaben zum Betrieb und zur Wartung von Ozon-Systemen sollten beachtet werden. Wenn es keine Vorgaben des Herstellers für den Betrieb und die Wartung gibt, müssen Ozon-Systeme mindestens einmal im Jahr von einer Fachkraft gewartet werden. Die Wartung muss in einem Protokoll dokumentiert werden, das den Umfang der Arbeiten und eine Liste der ausgetauschten Teile enthält. Auch der Betriebszustand des Systems muss überprüft werden. Bei der Wartung müssen die vorhandenen Sicherheitseinrichtungen einer Funktionsprüfung unterzogen und die Dichtheit und Vollständigkeit des Systems durch eine Sichtprüfung überprüft werden. Für die Erkennung nicht sichtbarer Ozonleckagen oder von Ozonleckagen unterhalb der Geruchsschwelle von Ozon haben sich Jod-Stärkepapier-Indikatoren oder spezielle Gasmessrohre oder -sensoren bewährt. Es ist zu beachten, dass der Anwendungsbereich des verwendeten Leckagesuchverfahrens vor dem Einsatz zu berücksichtigen ist, z. B. der Anwendungsbereich des Jod-Stärkepapiers.

Während des Betriebs müssen Ozon-Systeme stets die für die Anwendung geltenden Anforderungen erfüllen, z. B. in Bezug auf Betriebsfestigkeit und Dauerhaftigkeit. Die einzelnen diesbezüglichen Anforderungen an die Anwendung werden in dieser Norm nicht beschrieben.

15 Prüfung von Ozonerzeugungsanlagen zu deren Charakterisierung

15.1 Allgemeines

Ozonerzeugungsanlagen müssen durch Einzelprüfung oder Musterprüfung durch eine zur Prüfung befähigte Person (siehe 3.13) im Werk oder gegebenenfalls vor Ort geprüft werden. Für technisch identische Systeme, die aus einer Serienproduktion stammen, darf eine Prüfung eines repräsentativen Anlagentyps vorgenommen werden.

10 Nationale Sicherheitsvorschriften können von dieser Tabelle abweichen und müssen vorrangig berücksichtigt werden.