

Eine Information zu

Ozon Bedeutung im Lebensraum und in der Wasseraufbereitung

figawa-Arbeitskreis Ozon

Inhalt

1. Ozon.....	3
1.1 Ozon in der Atmosphäre	3
1.2 Ozon als Schutzschirm in großer Höhe	4
1.3 Ozon in der bodennahen Atmosphäre	4
2. Ozon in der Technik.....	5
2.1 Geschichtliche Entwicklung	5
2.2 Aktuelle Einsatzgebiete	6
2.3 Ozon in der Wasseraufbereitung	6
2.4 Ozonherstellung	8
2.5 Wo bleibt das Ozon?	8
3. Sicherheit von Ozonanlagen	9
Fazit	9

Hinweise zu Urheberrechten

© 2011, figawa Köln, Alle Rechte vorbehalten.

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung von figawa reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme vervielfältigt oder verbreitet werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk und Fernsehen sind vorbehalten.

Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V.
Technisch-wissenschaftliche Vereinigung
Postfach 51 09 60
50945 Köln

Fon +49 (0) 221-376 68 20
Fax +49 (0) 221-376 68 60
info@figawa.de
www.figawa.de

Vorwort

Bei dem vorliegenden Text handelt es sich um die Überarbeitung einer figawa-Information der späten 1990er Jahren. Der figawa Arbeitskreis Ozon wendet sich mit seiner Information an alle ozon-interessierten Kreise. Der Arbeitskreis umfasst Hersteller und Dienstleister von Ozonerzeugungs- und Wasseraufbereitungsanlagen sowie die auf diesem Gebieten tätigen Wissenschaftler, Sachverständige und Planer.

1. Ozon

Während Ozon früher ein Begriff war, mit dem nur Experten verschiedenster Fachgebiete umgingen, so ist es heute in unseren Alltagssprachgebrauch eingegangen. Der Begriff Ozon kommt in den unterschiedlichsten Themenbereichen vor. Leider werden aber häufig verschiedene Sachzusammenhänge miteinander verwechselt oder vermischt. In dieser Kurzinformation wird versucht, das Vorkommen von Ozon und dessen Bedeutung im Alltag darzustellen.

Ozon wurde bereits im Jahr 1839 von Christian Friedrich Schönbein bei der Wasserelektrolyse entdeckt. Den dabei auftretenden Geruch schrieb er einem gasförmigen Stoff zu, den er OZON (griechisch = riechen) nannte. Ozon (chemisches Formelzeichen O_3) besteht aus drei Atomen Sauerstoff. Die menschliche Nase nimmt Ozon schon ab einer Konzentration von etwa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wahr und ist damit technischen Sensoren überlegen. Das bedeutet, dass der Mensch in der Regel schon geringste Ozonkonzentrationen wahrnimmt und reagieren kann, ohne eine unmittelbare Gefahr erwarten zu müssen, die von seiner stark oxidierenden Wirkung ausgehen kann. Der Arbeitsplatzgrenzwert ist aus dem früheren MAK-Wert¹ hervorgegangen und beträgt für Ozon $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$).

1.1 Ozon in der Atmosphäre

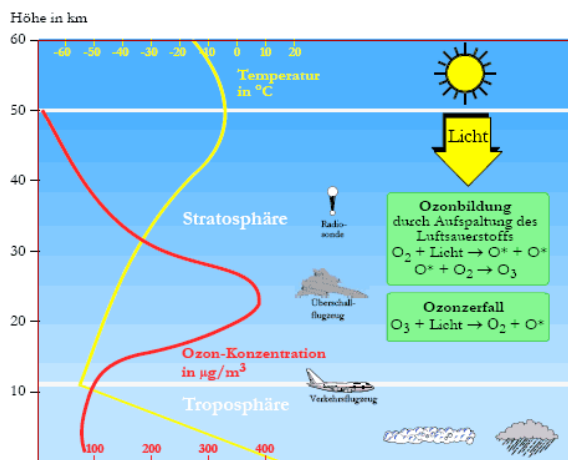
Ozon kommt auch als natürliches Gas in der Umwelt vor. Eine Konzentration von etwa $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,08 \text{ mg}/\text{m}^3$) kann dabei kurzfristig auftreten und wird als normal angesehen. Aus der Umweltdiskussion sind uns Schlagwörter wie Ozonloch oder Ozonschäden (an Pflanzen) und Ozonsmog bekannt. Was haben diese Begriffe im Einzelnen zu bedeuten?

¹ MAK-Wert: Am Arbeitsplatz dürfen in einem Kubikmeter Atemluft höchstens $0,1 \text{ cm}^3$ oder $200 \mu\text{g}$ ($0,2 \text{ mg}$) Ozon dauernd vorhanden sein, damit bei einer in der Regel achtstündigen Arbeitszeit und bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von durchschnittlich 40 Stunden, im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt wird und die Beschäftigten nicht unangemessen belästigt werden. Seit 1. Januar 2005 besteht mit dem Inkrafttreten der neuen, deutschen Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) ein neues Grenzwert-Konzept. Die neue GefStoffV kennt nur noch gesundheitsbasierte Grenzwerte, genannt Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) und Biologischer Grenzwert (BGW). Die alte Bezeichnungen MAK-Werte sind zwar noch gebräuchlich, aber anzuwenden sind die aktuellen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere die TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ mit Stand vom 4. August 2010. Insofern ist die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration eine historische Kenngröße.

1.2 Ozon als Schutzschirm in großer Höhe

Etwa 90 % des globalen Ozonvorkommens befindet sich in der Stratosphäre, also ungefähr in einer Höhe zwischen 8-50 km an den Polen bzw. 17-50 km über der Erdoberfläche am Äquator. Ozon hat in der Stratosphäre eine lebenswichtige Funktion. Es absorbiert dort die harte lebensfeindliche UV-Strahlung der Sonne, so dass diese Strahlung unseren Lebensraum nicht erreicht. Das Ozon wird unter den hier normalerweise herrschenden Bedingungen mit Hilfe der UV-Strahlung gebildet. In einer Höhe von ca. 20-30 km wird die maximale Ozonkonzentration mit etwa $20.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($20 \text{ mg}/\text{m}^3$) erreicht. Die Ozonkonzentration in der Stratosphäre ist schwankend und stark abhängig von der geographischen Breite, der Jahreszeit, meteorologischen Bedingungen.

Grafik: Ozonkonzentration in der Atmosphäre



Quelle: <http://www.luft-rlp.de/ozon/wissenswertes/index.php>

Luftschadstoffe, z. B. Fluorkohlenwasserstoffe, führen zu einer Schädigung der schützenden Ozonschicht. Letztere sind leider in der Lage, das Ozon nach komplizierten Reaktionsmechanismen abzubauen. Je niedriger die Ozonkonzentration in der Stratosphäre ist, um so mehr UV-Licht kann auf den Erdboden gelangen und hier auf photochemischem Wege unter anderem Schäden an der menschlichen Haut, aber auch an Pflanzen bewirken. Die deutlichste Verminderung der Ozonschicht misst man derzeit (besonders im Winter) über den Polkappen der Erde, das ist das sogenannte Ozonloch. Aber auch über unbewohnten Gebieten wurde bereits eine verringerte Ozonkonzentration gemessen. Das Ozon in den großen Höhen unserer Atmosphäre ist für uns ein (über-) lebensnotwendiger Schutzschirm.

1.3 Ozon in der bodennahen Atmosphäre

Wenn wir uns in Gedanken aus der Stratosphäre nach unten bewegen, kommen wir über die Grenzschicht der Tropopause in die Troposphäre, also in die Luftschicht, die bis an den Boden heranreicht und in der sich das wesentliche Wettergeschehen abspielt. Die Troposphäre ist in erster Linie von Emissionen betroffen. Sie schluckt sämtliche Abgase aus unseren Kraftfahrzeugen, häuslichen Heizungen, Kraft- und Fernheizungen, der Industrie und vielen anderen z. T. diffusen Quellen. Für Ozon ist hier vor allem der Ausstoß an Stickoxiden (NO_x) von Interesse, die überall dort entstehen, wo Verbrennungsprozesse ablaufen. Weiterhin können aber auch Kohlenwasserstoffe und flüchtige

organische Stoffe zur Ozonbildung beitragen. Nach der folgenden vereinfachten Formel² wird aus Stickstoffdioxid unter der Einwirkung von Sonnenstrahlung Ozon erzeugt.



Ozon bildet sich in der Atmosphäre vor allem auf drei Arten:

- Energiereiche UV-Strahlung der Sonne spaltet Sauerstoff-Moleküle in der Stratosphäre in zwei einzelne Atome, die sich jeweils mit einem weiteren Sauerstoff-Molekül zu Ozon vereinigen.
- In Nähe der Erdoberfläche bildet sich Ozon aus einer Reaktion zwischen Stickstoffdioxid NO₂ und Sauerstoff O₂ mit Hilfe der UV-Strahlung der Sonne.
- Durch ein Gewitter. Dieses lässt bei seiner Endladung (Wolke mit Erde) durch den elektrischen Strom Ozon entstehen (aber auch Salpetersäure und andere Stoffe).

Da die Ozonbildung mit der Intensität der Sonnenstrahlung zunimmt, kann es im Sommer zu erhöhten Ozonkonzentrationen kommen, insbesondere an Orten, an denen starke Emissionen an Stickoxiden vorliegen. Diese Bildung von sogenanntem Ozonsmog wird also durch Abgase aus Verkehr und Industrie gefördert, dabei können die Werte im Sommer den Arbeitsplatzgrenzwert durchaus erreichen oder übertreffen.

Wichtig ist allerdings, dass sich Ozon, anders als viele andere atmosphärische Schadstoffe, nicht über mehrere Monate oder gar Jahre anreichern kann. Eine Ozonsmog-Wetterlage tritt in der Regel eher lokal auf und dauert nur wenige Tage. Ozon ist nicht stabil und zerfällt schnell wieder zu Sauerstoff. Aufgrund verschiedener Umweltschutzmaßnahmen (z. B. Katalysatoren bei Kraftfahrzeugen und Reinigungsanlagen in Kraftwerken) konnte der Schadstoffausstoß insbesondere an Stickoxiden, die zu den wichtigsten Vorprodukten des umweltbedingten Ozons gehören, drastisch vermindert werden. Die Ozonsmog-Wetterlagen sind daher in den letzten Jahren seltener geworden.

2. Ozon in der Technik

Das 1839 entdeckte Ozon erlangte mit der 18 Jahre später gemachten Erfindung der „Ozon-Röhre“ durch Werner von Siemens technische Bedeutung. Dabei wird Ozon innerhalb einer geschlossenen Röhre mittels einer Hochspannungsentladung aus einem sauerstoffhaltigen Gas erzeugt.

2.1 Geschichtliche Entwicklung

Die Firma Siemens beschäftigte sich als erste in Deutschland mit der technischen Entwicklung von Ozonerzeugungsanlagen. Sie exportierte um die Jahrhundertwende kleinere Anlagen nach Frankreich, Holland, Russland und in die Balkanstaaten. Diese Anlagen nutzten die starke Reaktionskraft von Ozon zur Wasserbehandlung vorzugsweise zur Abtötung krankheitserregender Keime im Wasser (Desinfektion).

So gelangten von 1905 bis 1925 zahlreiche Ozonanlagen in den verschiedensten Bereichen zum Einsatz. Die erste größere Anlage entstand um 1910 im Wasserwerk Sankt Petersburg. Mit dem Einsatz von Chlor verlor Ozon für einige Jahre an Bedeutung. Nach 1950 gewann Ozon wegen der

² Die angegebene Formel zeigt exemplarisch einen Reaktionsablauf. Tatsächlich sind die Reaktionen zur Ozonbildung so komplex, dass eine vollständige Darstellung im Rahmen dieses Papiers nicht möglich ist.

zunehmenden Verschmutzung der Oberflächengewässer und den damit verbundenen Problemen in den Aufbereitungsprozessen wieder an Bedeutung. Fortschritte in der Anlagen- und Verfahrenstechnik eröffneten neue Einsatzgebiete, in alten Einsatzgebieten erlangte Ozon neue Bedeutung. Das bevorzugte Einsatzgebiet für Ozon war und ist die Aufbereitung von Wasser. Heute kommt fast jeder Bundesbürger mit Wasser in Kontakt, in dessen Aufbereitungsprozess Ozon eingesetzt wurde.

Hersteller und Anwender von Ozonerzeugungsanlagen gründeten 1972 die „Internationale Ozone Association“ (IOA). Auf jährlichen Kongressen werden die weltweit zunehmenden neuen Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten des Ozons diskutiert und der Öffentlichkeit vorgestellt.

2.2 Aktuelle Einsatzgebiete

Ozon wird aufgrund seiner hohen Reaktionskraft zur Oxidation und Desinfektion in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten eingesetzt. Bei der Herstellung vieler Produkte des täglichen Lebens wird Ozon eingesetzt. Die meisten mit "Chlorfrei" benannten Produkte oder Verfahren sind in der Regel auf Ozon zurückzuführen, so zum Beispiel das Bleichen von Papier.

2.3 Ozon in der Wasseraufbereitung

In der Wasseraufbereitung dient Ozon unter Anderem zur umweltfreundlichen und schonenden oxidativen Entfernung von Eisen und Mangan, zur Oxidation organischer Substanz und zur Entkeimung des Wassers. In vielen Trinkwasserwerken ist die Ozonbehandlung eine wesentliche Aufbereitungsstufe.

Ozon eignet sich sehr gut für die Behandlung von zuvor genutztem Wasser und von Kreislaufwasser. Durch Ozon können Verschmutzungen so umgewandelt werden, dass sie anschließend abfiltriert oder biologisch abgebaut werden können, beispielhaft dafür seien Schwimmbadwasser oder Prozesswasser genannt. Die entkeimende Wirkung im Wasser ermöglicht in vielen Einsatzfällen die Wiederverwendung des genutzten Wassers, z. B. bei Kühlwasser in Klimaanlage oder in Aquariensystemen zur Fischzucht.



Bild 1: Beispiel von Ozon-Kompaktanlagen

Hier einige **Beispiele** für den Ozoneinsatz:

- **Trinkwasser** wird mit Ozon aufbereitet. Ozon oxidiert Eisen, Mangan, Arsen und andere störende Inhaltsstoffe wie Huminstoffe. Die Ozonisierung stellt damit einen bedeutenden Schritt in der Wasseraufbereitung dar. Bei Mineralwässern wird oft indirekt mit Ozon aufbereitet.
- **Schwimmbadwasser** wird mit Ozon oxidiert und desinfiziert. Durch den Einsatz von Ozon kann die Chlorung der Wassers reduziert werden. Es werden die Stoffe, die den typischen unangenehmen Hallenbadgeruch nach Chlor verursachen (Chloramine) abgebaut. Haut- und Augenreizungen der Badegäste werden deutlich reduziert. Für Therapiebecken wird seine Anwendung obligatorisch vorgeschrieben.
- **Prozesswasser** in der Industrie kann durch den Einsatz von Ozon wiederaufbereitet und damit wieder verwendet werden. Der Wasserverbrauch sinkt und es fällt weniger Abwasser an.

- **Abwasser** aus den unterschiedlichsten Industriebereichen wird mit Ozon behandelt. Typische Einsatzgebiete sind beispielsweise Textilabwässer, Autowaschanlagen, Zyanidabwässer aus der Metallveredelung, und viele andere mehr. Hier bewirkt Ozon beispielsweise die Voroxidation zur weiteren Behandlung der Schadstoffe in einer nachgeschalteten Biologie (CSB³-Abbau, Entfärbung, Geruchsbeseitigung, Keimreduzierung).
- **Kreislaufwasser** von Kühltürmen wird mit Ozon behandelt. Das Kühlsystem wird von Bakterienbewuchs freigehalten und die aus dem Kühlturm austretende Kühlluft ist hygienisch einwandfrei.
- **Abluftreinigung** mit Ozon auch zum Zwecke der Geruchsbeseitigung.
- **See- und Süßwassertierhaltung in zoologischen Gärten- und Fischzuchtanlagen** nutzen Ozon zur Oxidation biologisch nicht abbaubarer Substanz (Gelbstoffe) und zur Desinfektion.
- **Getränkeflaschen** werden vor dem Befüllen mit ozonhaltigem Wasser desinfiziert, um das Getränk länger haltbar zu machen.
- **Gemüseanbau in Treibhäusern.** Hier wird Ozon in die Behandlung der Wasserkreisläufe einbezogen. Durch Waschen mit Ozonwasser hält sich das geerntete Gemüse länger frisch.
- In der **Reinstwasseraufbereitung** in Mikroelektronik, Optik, und Pharmazie wird Prozesswasser durch Einsatz von Ozon wieder verwendbar.
- In der **Medizintechnik** wird Ozon in speziellen Anwendungen für Desinfektion und Therapie eingesetzt.
- **Lösung von Umweltschutzproblemen.** Ozon wird als ein wichtiges Element einer umfassenden Verfahrenstechnologie eingesetzt. Ozon ist kein Wundermittel, aber immer öfter ein integraler Bestandteil. Bei bestimmten Einsatzgebieten wird durch Ozon eine Rückführung des Wassers in den Prozess möglich! In anderen Fällen kann der Einsatz klassischer Chemikalien vermieden oder minimiert werden. Exemplarisch sei hier die Behandlung von Kühl- und Wasserkreisläufen genannt.
- **Ballastwasser** in der internationalen Schifffahrt wird mit Ozon behandelt, um das Verschleppen von Tier- und Pflanzenarten über die Weltmeere zu vermeiden.



Bild 2: Ozonanlage in der Mineralwasseraufbereitung

³ CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf

2.4 Ozonherstellung

Als „Rohstoffe“ für die Ozonerzeugung werden lediglich Luft oder Sauerstoff sowie elektrische Energie benötigt. Neben dem eigentlichen Ozonerzeuger werden weitere Verfahrenselemente wie Vermischungs- und Reaktionssysteme, eine entsprechende Messtechnik sowie angepasste Sicherheitssysteme benötigt.

Anders als die technischen Gase kann Ozon aufgrund seiner geringen Beständigkeit nicht in Flaschen gefüllt und transportiert werden. Ozon muss am Ort der Verwendung erzeugt werden. Hierfür werden eine Vielzahl, nach Bauart und Leistung unterschiedlicher Ozonerzeugungsanlagen angeboten, die dem speziellen Bedarfsfall angepasst sind.

Ozon zerfällt bei Raumtemperatur sehr schnell, typischerweise innerhalb weniger Minuten, in molekularen Sauerstoff (O_2), was an seiner großen Reaktionsfreudigkeit und der damit verbundenen großen Oxidationswirkung liegt. Ozon wird entweder aus technisch reinem Sauerstoff oder aus dem Sauerstoff der Luft (O_2) gewonnen. Luft besteht zu ca. 21% aus Sauerstoff (O_2) und zu ca. 79% aus Stickstoff (N_2). Die Nutzung von Luftsauerstoff hat den großen Vorteil, dass Luft überall kostenlos verfügbar ist, Beschaffung und Lagerung wie bei technischem Sauerstoff entfallen also. Bei großem Ozonbedarf überwiegen dagegen die Vorteile der Ozonerzeugung aus technischem Sauerstoff, z. B. der geringere Energiebedarf der Ozonerzeugung.

Bereits im Jahre 1857 baute Werner von Siemens die erste technische Apparatur zur Erzeugung von Ozon. Auch heute noch basieren fast alle Ozonerzeugungsanlagen auf dem von Siemens angewandten Prinzip der „stillen elektrischen Entladung“. Die Entladungsvorrichtungen wurden im Laufe der Entwicklung vereinfacht und in ihrer Leistung verbessert. Gemeinsam ist allen Konstruktionen der prinzipielle Aufbau der Ozonerzeugungselemente. Ein Ozonerzeugungselement besteht aus zwei Elektroden die räumlich getrennt sind durch ein Dielektrikum aus hoch isolierendem Spezialglas und einen Einfach- oder Doppel-Luftspalt. Ein Ozonerzeuger enthält mehrere Ozonerzeugungselemente.

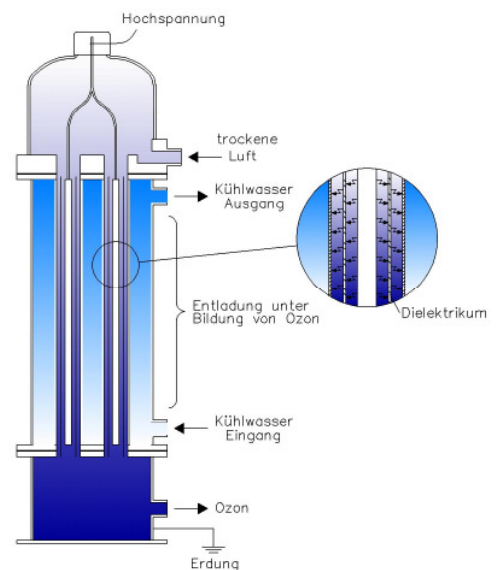


Bild 3 : Schema Ozonerzeuger

Bild 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Ozonerzeugers, ausgeführt als Ozonröhre. An die Elektroden wird hochgespannte Wechselspannung angelegt. Dabei kommen je nach Bauart unterschiedliche Antriebsfrequenzen zum Einsatz, häufig wird direkt die Netzfrequenz 50 Hz verwendet, der Bereich der Antriebsfrequenzen erstreckt sich aber bis über 1.000 Hz.

2.5 Wo bleibt das Ozon?

Nahezu alle technischen Ozonanwendungen sind so ausgelegt, dass in der Regel über 95% des erzeugten Ozons im Verfahren selbst, also z.B. in der Wasseraufbereitung, reagiert und damit verbraucht wird. Überschüssiges Ozon wird über geeignete Restozonvernichter oder Katalysatoren wieder zu Sauerstoff zurückverwandelt.

3. Sicherheit von Ozonanlagen

Ozonanlagen werden so konzipiert, dass Ozon nicht in die Umgebungsluft gelangen kann. Warngeräte, die auf den Arbeitsplatzgrenzwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$) eingestellt sind, sorgen für eine zusätzliche Sicherheit. Sie schalten, im Falle des unkontrollierten Ozonaustritts den Ozonerzeuger automatisch aus und geben akustische und optische Warnsignale.

Zusätzliche Sicherheit bieten Ozonanlagen, die Ozon bei Unterdruck erzeugen. Bei diesen Anlagen ist der Betriebsdruck in der Anlage niedriger als der Druck der Umgebungsluft, so dass selbst bei einer Leckage kein Ozon an der Anlage austreten kann. Bei modernen Überdruckanlagen wird durch ein geeignetes Sicherheitskonzept der Installation das Risiko für Ozonaustritt minimiert.

Fazit

Ozon ist eine bewährte und sichere Technik, es hilft uns in vielen Bereichen des täglichen Lebens, ohne dass wir es bemerken. Ozon erfüllt höchste Ansprüche in vielen Einsatzgebieten

Quellen: Abb. 1: BWT, Bild 1: Fa. HydroElektrik, Bild 2: BWT

Die vorliegende Information wurde mit freundlicher Unterstützung der Mitgliedsunternehmen und deren Mitarbeiter erstellt. Kommentare und Anregungen zu dieser Information nimmt die figawa-Geschäftsführung gerne entgegen. Betreuender figawa-Referent: Dipl.-Ing. Mario Jahn

Seit 1926 organisieren sich Hersteller von Produkten und Dienstleister des Gas- und Wasserfachs in einem technisch-wissenschaftlichen Dachverband, der Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach - **figawa e. V.** Das Ziel dieser Vereinigung besteht seit ihrer Gründung darin, Produkte und Verfahren im Hinblick auf Sicherheit, Hygiene, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit in Regelwerken zu verankern. Insgesamt sind mehr als tausend Unternehmen Mitglied in der figawa. Einen aktuellen Überblick finden Sie unter www.figawa.de.