

DIN EN ISO 18081



ICS 19.100

Ersatz für
DIN EN ISO 18081:2016-11

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Schallemissionsprüfung –
Dichtheitsprüfung mittels Schallemmission (ISO 18081:2024);
Deutsche Fassung EN ISO 18081:2024**

Non-destructive testing –
Acoustic emission testing (AT) –
Leak detection by means of acoustic emission (ISO 18081:2024);
German version EN ISO 18081:2024

Essais non destructifs –
Essais d'émission acoustique –
Détection de fuites par émission acoustique (ISO 18081:2024);
Version allemande EN ISO 18081:2024

Gesamtumfang 46 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Das Dokument EN ISO 18081:2024 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-11-12 AA „Ultraschallprüfung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Diese Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheit „Centistokes“, die in Deutschland nicht zugelassen ist. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheit im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr aufgrund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheit dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheit anwenden.

Umrechnung:

Nicht zugelassene Einheit	Zugelassene Einheit	Umrechnung
1 cSt	m ² /s	1 cSt = 1 mm ² /s = 10 ⁻⁶ m ² /s

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 9712	siehe	DIN EN ISO 9712
ISO 20484	siehe	DIN EN ISO 20484

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 EN ISO 18081:2016-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) normative Verweisungen aktualisiert;
- b) Klarstellung in welchen Fällen unbewegliche Prüfausrüstung verwendet wird;
- c) Bild 2, das eine einstellbare Luftdüse zeigt, hinzugefügt;
- d) Unterabschnitt 9.4 „Wellenart- und wellenbasierte Ortung“ entfernt;
- e) Tabelle 2 über Leckageneinordnung und die notwendigen Aktivitäten bei der Prüfung hinzugefügt;
- f) Unterabschnitt A.5.4 „Abhängigkeit des Leckagegeräuschs“ von der Druckdifferenz entfernt;
- g) Abschnitt A.6 „Dichtheit in unterirdischen Speichertanks“ aufgenommen;
- h) redaktionelle Überarbeitung des Dokuments.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 18081: 2016-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*

DIN EN ISO 20484, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Begriffe*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

**Zerstörungsfreie Prüfung —
Schallemmissionsprüfung —
Dichtheitsprüfung mittels Schallemmission (ISO 18081:2024)**

Non-destructive testing —
Acoustic emission testing (AT) —
Leak detection by means of acoustic emission
(ISO 18081:2024)

Essais non destructifs —
Essais d'émission acoustique —
Détection de fuites par émission acoustique
(ISO 18081:2024)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 28. Juni 2024 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Qualifizierung des Prüfpersonals	9
5 Grundlagen der Schallemissionsprüfung	9
5.1 Das Phänomen der Schallemission	9
5.2 Einfluss unterschiedlicher Medien und unterschiedlicher Phasen	9
5.3 Einfluss von Druckdifferenzen	11
5.4 Einfluss der Geometrie des Leckagekanals	11
5.5 Einfluss der Wellenausbreitung	11
6 Anwendungen	12
7 Prüfausrüstung	13
7.1 Allgemeine Anforderungen	13
7.2 Sensoren	13
7.2.1 Typische Frequenzbereiche (Bandbreiten)	13
7.2.2 Befestigungstechnik	13
7.2.3 Temperaturbereich, Wellenleiter	13
7.2.4 Eigensicherheit	14
7.2.5 Tauchsensoren	14
7.2.6 Integrierte Elektronik (Verstärker, RMS-Konverter, ASL-Konverter, Bandfilter)	14
7.3 Tragbare und nichttragbare AE-Geräte	14
7.4 Einkanalige und mehrkanalige AT-Geräte	14
7.4.1 Einkanalige Geräte	14
7.4.2 Mehrkanalige Geräte	14
7.5 Bestimmung von Merkmalen (RMS-Wert, ASL-Wert gegen Hit oder kontinuierliche AE gegen Burst-AE)	15
7.6 Systemverifizierung mittels künstlicher Quellen von Leckagegeräuschen	15
8 Verfahrensbeschreibung der Dichtheitsprüfung	16
8.1 Befestigung der Sensoren	16
8.2 Zusätzliche zu bestimmende Merkmale	16
8.3 Hintergrundgeräusch	17
8.3.1 Allgemeines	17
8.3.2 Umgebungsgeräusch	17
8.3.3 Betriebsgeräusch	17
8.4 Datenerfassung	17
9 Ortungsverfahren	18
9.1 Allgemeines	18
9.2 Ortung mit einem Sensor basierend auf der Schwächung der AE-Wellen	18
9.3 Ortung mit mehreren Sensoren basierend auf Δt -Werten (linear, planar)	19
9.3.1 Schwellenwert- und Spitzenwert-Zeittechnik	19
9.3.2 Kreuzkorrelationstechnik	19
10 Darstellung der Daten	20
10.1 Numerische Darstellung der Daten (Schallpegelmessgerät)	20
10.2 Parameterabhängige Funktion	21
10.3 Frequenzspektrum	21
11 Auswertung der Daten	22
11.1 Leckagevalidierung	22
11.1.1 Am Einsatzort (während der Prüfung) und außerhalb des Einsatzortes (spätere Analyse)	22
11.1.2 Korrelation mit dem Druck	22

11.1.3	Verwerfen falscher Anzeigen	22
11.2	Abschätzung der Leckagerate	23
11.3	Anforderung an Folgemaßnahmen	23
12	Qualitätsmanagement-Dokumente	24
12.1	Prüfablauf	24
12.2	Prüfanweisung	24
13	Prüfdokumente und Prüfbericht	25
13.1	Prüfdokumente	25
13.2	Prüfbericht	25
Anhang A (informativ) Beispiel-Anwendungen für die Dichtheitsprüfung		27
A.1	Funktionsprüfung von Kondensatabscheidern	27
A.1.1	Kondensatabscheider	27
A.1.2	Prüfausrüstung	27
A.1.3	Prüfpersonal	27
A.1.4	Verfahrensbeschreibung	27
A.1.5	Auswertung der Prüfergebnisse	29
A.1.6	Dokumentation	29
A.2	Dichtheitsprüfung an Rohrleitungen	29
A.2.1	Bestimmung der Schallschwächung	29
A.2.2	Kreuzkorrelation	29
A.2.3	Molchtechnik	31
A.3	Dichtheitsprüfung während der Wasserdruckprüfung von Primärkreisläufen im Kernkraftwerk	32
A.3.1	Allgemeines	32
A.3.2	Technik	32
A.3.3	Überwachung der Wasserdruckprüfung des Primärkreislaufs	33
A.3.4	Qualifizierung und wichtigste Ergebnisse	33
A.4	Dichtheitsprüfung an Tankböden	34
A.4.1	Allgemeines	34
A.4.2	Prüfung	35
A.4.3	Prüfergebnis	37
A.5	Dichtheitsprüfung an Sicherheitsbehältern	37
A.5.1	Allgemeines	37
A.5.2	Umfassende Überwachung	37
A.5.3	Kartierung des akustischen Feldes in der Nähe einer Leckagequelle — Lokale Bereichs-Überwachung	38
A.6	Dichtheit in unterirdischen Lagertanks	38
A.6.1	Allgemeines	38
A.6.2	Prüfausrüstung	39
A.6.3	Prüfpersonal	39
A.6.4	Verfahrensbeschreibung	39
A.6.5	Auswertung der Prüfergebnisse	40
A.6.6	Dokumentation	41
Literaturhinweise		42

Bilder

Bild 1	— Schematische Darstellung des Prinzips der Schallemission und ihres Nachweises	9
Bild 2	— Einstellbarer Luftstrahl	15
Bild 3	— Beispiel für RMS und Druck als Funktion der Zeit	21
Bild A.1	— Prüfaufbau für die Kreuzkorrelation	31
Bild A.2	— Skizze eines Molches	32
Bild A.3	— Position der AE-Sensoren am Primärkreislauf eines Kernkraftwerkes	34
Bild A.4	— Sensoranordnung an einem mit Flüssigkeit gefüllten Tank mit schwimmendem Dach	36

Bild A.5 — Akustisches Feld in einem Bereich mit möglicherweise drei Lecks oder einem komplexen Leckagekanal 38

Tabellen

Tabelle 1 — Einfluss der verschiedenen Parameter auf die AE-Aktivität 10

Tabelle 2 — Leckageeinstufung und Einfluss der Dynamik der Leckageströmung auf die AE-Aktivität 23

Tabelle A.1 — Korrelation zwischen Druck und Temperatur 29

Tabelle A.2 — Zeitraum zwischen den Prüfungen 41

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 18081:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2025, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2025 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 18081:2016.

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.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 18081:2024 wurde von CEN als EN ISO 18081:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC Directives, Teil 1, beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC Directives, Teil 2, erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135, *Non-destructive testing*, Unterkomitee SC 9, *Acoustic emission testing*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 138, *Zerstörungsfreie Prüfung*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 18081:2016), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- Bild 1 wurde verbessert;
- der Begriff „AT-Gerät“ wurde im gesamten Dokument durch „AE-Gerät“ ersetzt;
- der Begriff „System“ wurde im gesamten Dokument durch „Gerät“ ersetzt;
- Bild 2, das einen einstellbaren Luftstrahl zeigt, wurde hinzugefügt;
- Gleichung (1) wurde berichtigt;

- Tabelle 2 „Leckageeinstufung und Einfluss der Dynamik der Leckageströmung auf die AE-Aktivität“ wurde hinzugefügt;
- redaktionelle Korrekturen im gesamten Dokument.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die allgemeinen Grundlagen fest, die für die Dichtheitsprüfung mittels Schallemissionsprüfung (en: acoustic emission testing, AT) erforderlich sind. Es behandelt die Anwendung der Methodik auf Konstruktionen und Bauteile, bei denen ein Leckagestrom aufgrund von Druckdifferenzen auftritt und Schallemission (en: acoustic emission, AE) hervorruft.

Es beschreibt Phänomene der AE-Entstehung und den Einfluss der Art des Fluids, der Spaltform, der Wellenausbreitung und der Umgebung.

Die verschiedenen Anwendungstechniken, Prüfgeräte und Darstellungen der AT-Ergebnisse werden erörtert. Außerdem sind Leitlinien für die Erstellung der Anwendungsdokumente, die spezielle Anforderungen an die Anwendung der Schallemissionsprüfung beschreiben, enthalten.

Anhang A enthält Techniken für einige Anwendungen der Dichtheitsprüfung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

ISO 9712, *Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel*

ISO 12716, *Non-destructive testing — Acoustic emission inspection — Vocabulary*

ISO/TS 18173, *Non-destructive testing — General terms and definitions*

EN 1330-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 1: Allgemeine Begriffe*

EN 1330-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden*

EN 1330-9, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 9: Begriffe der Schallemissionsprüfung*

EN 13477-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Charakterisierung der Prüfausrüstung — Teil 1: Gerätebeschreibung*

EN 13477-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Charakterisierung der Prüfausrüstung — Teil 2: Überprüfung der Betriebskenngrößen*

EN 13554, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Allgemeine Grundsätze*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 12716, ISO/TS 18173, EN 1330-1, EN 1330-2 und EN 1330-9.

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

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

ANMERKUNG Die Definitionen von Leck, Leckagerate und Dichtheit entsprechen den Definitionen in ISO 20484.

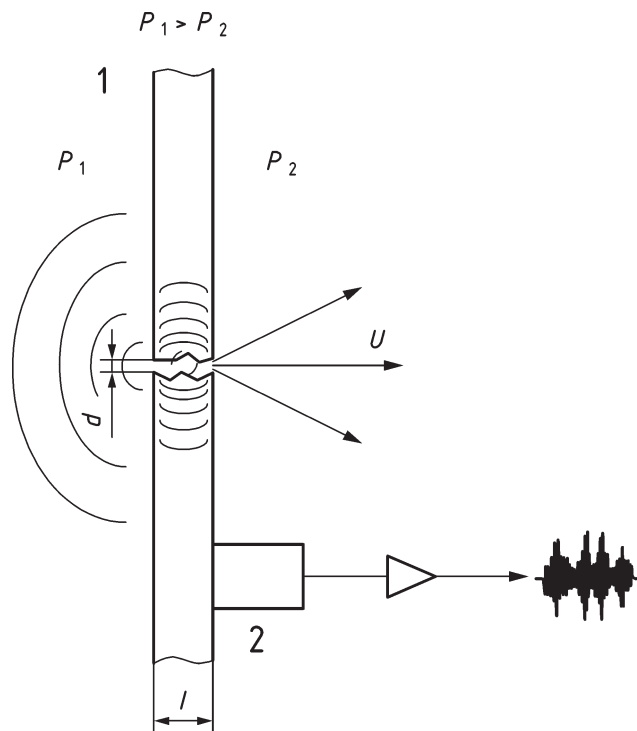
4 Qualifizierung des Prüfpersonals

Es wird angenommen, dass die Schallemissionsprüfung von qualifiziertem und kompetentem Personal durchgeführt wird. Um diese Qualifikation nachzuweisen, wird empfohlen, das Personal nach ISO 9712 zu zertifizieren.

5 Grundlagen der Schallemissionsprüfung

5.1 Das Phänomen der Schallemission

Siehe Bild 1.



Legende

1	Fluid	d	Hauptmaß der Lecköffnung
2	AE-Sensor	l	Wanddicke
P_1	Druck auf der Seite des Fluids	U	austretendes Fluid
P_2	Druck auf der Seite des Sensors		

Bild 1 — Schematische Darstellung des Prinzips der Schallemission und ihres Nachweises

In einem Frequenzbereich sieht die kontinuierliche Schallemission bei einem Leck wie ein scheinbarer Anstieg des Hintergrundgeräuschs in Abhängigkeit vom Druck aus.

5.2 Einfluss unterschiedlicher Medien und unterschiedlicher Phasen

Die Nachweisbarkeit des Lecks hängt von der Art und den physikalischen Eigenschaften des Fluids ab. Diese tragen zum dynamischen Verhalten der Leakageströmung bei (laminar, turbulent) (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 — Einfluss der verschiedenen Parameter auf die AE-Aktivität

Unterabschnitt	Parameter	Stärkere Aktivität	Geringere Aktivität
5.2	Prüfmedien	Gas	Flüssigkeit
		zweiphasig	
	Viskosität	niedrig	hoch
	Art der Strömung	turbulent	laminar
	Strömungsgeschwindigkeit	hoch	niedrig
5.3	Druckdifferenz	hoch	niedrig
5.4	Form des Lecks	rissähnlich	Loch
	Länge des Leckagekanals	lang	kurz
	Oberfläche des Leckagekanals	rau	glatt

Im Gegensatz zur turbulenten Strömung ruft die laminare Strömung im Allgemeinen keine erkennbaren Schallemissionssignale hervor.

Schallemission wird im Zusammenhang mit einer Leckage hervorgerufen durch:

- turbulente Strömung des ausströmenden Gases oder der ausströmenden Flüssigkeit;
- Fluidreibung im Leckagekanal;
- Kavitationen bei zweiphasiger Strömung (aus einer Lösung austretendes Gas) durch eine Leckageöffnung;
- den plötzlichen Druckanstieg, der entsteht, wenn eine Leckageströmung einsetzt oder aufhört;
- Rückspülen von Partikeln gegen die Oberfläche des überwachten Gerätes;
- gasförmigen oder flüssigen Strahl (Verifizierungsquelle);
- pulsierende Blasen;
- Explosion von Blasen;
- Schockblasen an den Wänden;
- Verdampfen der Flüssigkeit (schlagartig).

Der Frequenzinhalt der Kavitation kann von mehreren kHz bis zu mehreren MHz reichen.

Kavitation resultiert in einer transienten Emission, deren Energie mindestens eine Größenordnung höher ist als die durch Turbulenzen verursachte Energie.

Das Frühstadium der Kavitation wird stark vom relativen Gehalt an Gas oder Luft beeinflusst.

Die durch Lecks hervorgerufenen Schallwellen können sich sowohl über die Wände der Konstruktion als auch über etwaige Fluide im Inneren ausbreiten.

Schallwellen werden durch Schwingung der Moleküle des Fluids mit Ultraschallfrequenzen hervorgerufen. Die Schwingungen werden durch Turbulenz erzeugt und treten beim Übergang zwischen einer laminaren und einer turbulenten Strömung im Leckagekanal sowie beim Entweichen dieser Moleküle aus einer Öffnung auf.