

DIN EN 17391

ICS 19.100

Einsprüche bis 2019-07-24

Entwurf

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Schallemissionsprüfung –
Überwachung der Schallemission von metallischen Druckgeräten und
-strukturen im Betrieb – Allgemeine Grundsätze;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17391:2019**

Non-destructive testing –
Acoustic emission testing –
In-service acoustic emission monitoring of metallic pressure equipment and structures –
General requirements;
German and English version prEN 17391:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-05-24 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 nmp@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 Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 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 82 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist [JJJJ-MM-TT]^{*)}.

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17391:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung dieser Norm wurden dabei vom Arbeitsausschuss NA 062-08-23 AA „Ultraschallprüfung“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) wahrgenommen.

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.

^{*)} Wird bei der Ausgabe als Norm festgelegt.

Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Überwachung der Schallemission von metallischen Druckgeräten und -strukturen im Betrieb — Allgemeine Grundsätze

Non-destructive testing — Acoustic emission testing — In-service acoustic emission monitoring of metallic pressure equipment and structures — General requirements

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Qualifizierung von Prüfpersonal	8
5 Informationen im Vorfeld	8
5.1 Informationen zur Konstruktion	8
5.2 Betriebsbedingungen	8
5.3 AE-Ereignismechanismen	9
5.3.1 Allgemeines	9
5.3.2 Risswachstum	10
5.3.3 Korrosion	10
5.3.4 Reibung, Reibverschleiß und Kavitationserosion	10
6 Überwachungsmethodik	10
6.1 Periodische, temporäre oder kontinuierliche Überwachung	10
6.2 Vor-Ort- oder ferngesteuerte Überwachung	12
6.3 Beaufsichtigte oder automatisierte Überwachung	12
7 Überwachungsmessgeräte	13
7.1 Allgemeine Anforderung	13
7.2 Sensoren und Vorverstärker	13
7.2.1 Allgemeines	13
7.2.2 Typische Frequenzbereiche (Bandbreite)	14
7.2.3 Kopplungsmittel	14
7.2.4 Montageverfahren	14
7.2.5 Temperaturbereich, Gebrauch von Wellenleitern	14
7.2.6 Verwendung in explosionsgefährdeter Atmosphäre	14
7.2.7 Eingetauchte Sensoren	15
7.2.8 Eingebaute Elektronik (Verstärker, Bandpassfilter, Effektivwertwandler, ASL-Wandler)	15
7.2.9 Erdungsanforderungen	15
7.2.10 Externe Vorverstärker	15
7.2.11 Sensor- und Vorverstärkerkabel	15
7.3 Tragbare AE-Einrichtungen	16
7.4 Ein- oder Mehrkanal-AE-Geräte	16
7.5 Messparameter	16
7.5.1 Parameter eines transienten Signals	16
7.5.2 Parameter eines kontinuierlichen Signals	16
7.6 Verifizierung der Sensorempfindlichkeit und Kopplungsgüte	17
7.7 Externe Parameter	17
7.8 AE-System	17
7.9 Überwachung in gefährdeten Bereichen	18
8 Messungen im Vorfeld der Überwachung	18
8.1 Wellenausbreitungsverhalten	18
8.1.1 Allgemeines	18

8.1.2	Enthaltene Flüssigkeiten oder Gase	18
8.1.3	Wanddicke (Material).....	19
8.1.4	Geometrie der Konstruktion	19
8.1.5	Isolierung	19
8.1.6	Oberflächenvorbereitung.....	19
8.2	Hintergrundgeräuschmessungen.....	19
8.2.1	Repräsentative Anordnung.....	19
8.2.2	Prozessgeräusch	19
8.2.3	Sonstige Störgeräusche	20
8.2.4	Dauer der Geräuschabtastung.....	20
8.3	Empfindlichkeit der AE-Überwachung unter Verwendung linearer oder planarer Ortung.....	20
9	Überwachungsverfahren	20
9.1	Sensorpositionierung	20
9.2	Externe Parameter.....	21
9.3	Verifizierung und Leistung von Messgeräten	21
9.4	Datenerfassung und Online-Filterung.....	21
10	Datenanalyse.....	22
10.1	Allgemeines	22
10.2	Online-Analyse	22
10.3	Datenverarbeitung.....	22
10.3.1	Analyse des Hintergrundgeräuschs.....	22
10.3.2	Datenanalyse der Vorortung.....	23
10.3.3	Ort des AE-Ereignisses.....	23
10.3.4	Clusteranalyse	24
10.3.5	Mustererkennung.....	24
11	Interpretation und Bewertung einer AE-Quelle.....	24
11.1	Interpretation von AE-Ergebnissen	24
11.2	Quellenbewertungskriterien	25
11.3	Einstufung und Schweregrad von AE-Quellen	28
11.4	Verifizierung von AE-Quellen und Folge-ZfP.....	28
12	Dokumentation und Berichterstattung.....	28
Anhang A (informativ) Ermüdungsrisswachstum und damit verbundene Schallemissionen, angewendet auf die Überwachung maritimer Konstruktionen		30
A.1	Begriffe	30
A.1.1	Allgemeines	30
A.1.2	Schallemissionsleistung.....	30
A.1.3	Schallemissionsenergie.....	30
A.1.4	Schallemissionsintensität	31
A.2	AE-Leistung und resultierende Wellen aus einem Mikrobruch-Ereignis (AE-Quelle).....	31
A.3	AE-Nachweisbarkeit.....	33
A.4	Ermüdungsrisswachstum.....	33
A.5	Kritische Risstiefe	36
A.6	Risswachstumsrate und erforderliche Dauer der Überwachung	36
A.7	AE-Überwachung der Ermüdung von Schiffshüllenkonstruktionen	39
Literaturhinweise.....		41
 Bilder		
Bild A.1 — Mikrostruktur des Materials (links) in Zusammenhang mit einem Ermüdungsriss (rechts).....		35
Bild A.2 — Modifizierte Paris-Erdogan-Gleichung.....		37
Bild A.3 — Berechneter alternierender Spannungsintensitätsfaktor		38

Tabellen

Tabelle 1 — Kriterien für die Bewertung von AE-Quellen (1 von 3)	26
Tabelle 2 — Kriterien für die Bewertung von AE-Quellen (2 von 3)	27
Tabelle 3 — Kriterien für die Bewertung von AE-Quellen (3 von 3)	28
Tabelle A.1 — Anzahl der Spannungszyklen mit konstanter Amplitude	39

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17391:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

Schallemissionsprüfung (AT) ist für den Nachweis von Inhomogenitäten in metallischen Strukturen fest etabliert. Des Weiteren wird die Schallemissionsprüfung weitgehend akzeptiert und während hydraulischen oder pneumatischen Prüfungen angewendet. Die Überwachung von Schallemission (AE) im Betrieb kann eine allgemeine Überwachung von Strukturdetails bieten, für den frühen Nachweis aktiver Risse und der Schadensentwicklung. Es ermöglicht durch eine Schadensbewertung über die Lebensdauer, die anschließende zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) zu Zwecken der Verifizierung und Größenermittlung des Schadens zu lenken.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die Überwachung der Schallemission (AE) für die Erkennung, Lokalisierung und Einstufung von AE-Quellen im Einsatz bei der Anwendung auf metallische Druckgeräte und andere Konstruktionen, wie Brücken, Brückenseile, Krane, Speicherbehälter, Rohrleitungen, Windkrafttürme, Marineanwendungen, Offshore-Bauwerke usw. Die Überwachung kann periodisch, temporär oder kontinuierlich, vor Ort oder ferngesteuert, überwacht oder automatisiert erfolgen. Ziel der AE-Überwachung ist es, Regionen zu definieren, die aufgrund von Schäden oder Defektentwicklungen akustisch aktiv sind.

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 1330-1:2015, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 1: Allgemeine Begriffe*

EN 1330-2:1998, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden*

EN 1330-9:2017, *Zerstörungsfreie Prüfung — Terminologie — Teil 9: Begriffe der Schallemissionsprüfung*

EN 13477-1:2001, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Gerätecharakterisierung — Teil 1: Gerätebeschreibung*

EN 13477-2:2013, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Charakterisierung der Prüfausrüstung — Teil 2: Überprüfung der Betriebskenngrößen*

EN 13554:2011, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Allgemeine Grundsätze*

EN 14584:2013, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemissionsprüfung — Prüfung von metallischen Druckgeräten während der Abnahmeprüfung — Planare Ortung von Schallemissionsquellen*

EN 15495:2007, *Zerstörungsfreie Prüfung — Schallemission — Prüfung von metallischen Druckgeräten während der Beanspruchung — Zonenortung von Schallemissionsquellen*

EN ISO/IEC 17025:2017, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

EN 60529:2014, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1330-1:2015, EN 1330-2:1998 und EN 1330-9:2017.

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

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

4 Qualifizierung von Prüfpersonal

Es wird vorausgesetzt, dass die Schallemissionsüberprüfung von qualifiziertem und geeignetem Personal durchgeführt wird. Um diese Qualifizierung nachzuweisen, wird empfohlen, das Personal in Übereinstimmung mit EN ISO 9712:2013 zu zertifizieren.

5 Informationen im Vorfeld

5.1 Informationen zur Konstruktion

Die Überwachung der Konstruktion ist abhängig von den historischen Betriebsdaten. Die Kenntnis der Betriebsbedingungen, (z. B. maximales Belastungsniveau, Schwingungsbereiche, Umgebungsbedingungen) und möglichen Reparaturen sind Hauptfaktoren für die Bestimmung der Überwachungsstrategie.

Die Zugänglichkeit der Konstruktion muss berücksichtigt werden, wenn die Überwachungsaufgabe geplant, gestaltet und durchgeführt wird.

Die Art und Größe der Konstruktion (sowie andere nachstehend angegebene Faktoren) müssen bestimmen, ob die Überwachung allgemein oder örtlich erfolgen kann. Falls in einigen spezifischen Bereichen der Konstruktion Beschädigungen erwartet werden, muss sich die Sensorkonfiguration auf diese Bereiche konzentrieren, um die mögliche Schadensentwicklung zu überwachen. In diesem Fall darf die Überwachung beschränkt werden auf:

- einen bekannten Schadensmechanismus an einem spezifischen Ort aufgrund von Erfahrung; oder
- stark belastete Bereiche (Schwerpunkte) mit bekannter oder vorhergesehener Versagensanfälligkeit (z. B. Finite-Elemente-Methode).

5.2 Betriebsbedingungen

Im Fall einer potentiell explosionsgefährdeten Umgebung, sollten die verwendeten Messgeräte und deren Installation der Richtlinie 2014/34/EU (ATEX) [1] entsprechen. Besonders Sensoren und Vorverstärker müssen nach ATEX zertifiziert sein.

Bei Konstruktionen die über oder unter einem bestimmten Temperaturniveau betrieben werden (z. B. oberhalb +80 °C oder unterhalb –40 °C), müssen spezielle Messgeräte für hohe/niedrige Temperaturen verwendet werden. Angemessene Aufmerksamkeit muss auf das Sensor-Kopplungsmittel (siehe 7.2.3) gelegt werden.

Eine hohe Betriebstemperatur, kann die Schadensmechanismen in der Konstruktion entweder selbst oder in Kombination mit der Belastung beeinflussen (z. B. erfordert Hochtemperaturkorrosion eine Hochtemperaturumgebung).

Im Fall von Niedertemperatur-Betriebsbedingungen muss auf die Bruchzähigkeit (Übergang duktil zu spröde) des Materials der Konstruktion geachtet werden. Wenn die Konstruktion, wie in vielen Fällen, isoliert ist, sollte die Reifbildung in den Isolierfenstern verhindert werden, damit die AE-Überwachung nicht durch Rissbildung des gefrorenen Produkts gestört wird.

Wenn sich die Konstruktion im Außenbereich (im Freien) befindet, können Naturereignisse wie Wind, Regen oder Hagel die AE-Überwachung stören. Derartige Naturereignisse müssen bei der Vorbereitung des Überwachungsverfahrens berücksichtigt werden. Falls die Konstruktion nicht vor der Umgebung geschützt werden kann, müssen diese Naturereignisse gemessen und aufgezeichnet werden und die Daten der zugehörigen parametrischen Eingaben mit den AE-Daten korreliert werden.

Im Fall aggressiver und/oder korrosiver Umgebungen, wie:

- marine oder Offshore-Konstruktionen (z. B. salzhaltiger Nebel, Wellen, Stürme usw.);
- Konstruktionen von Chemiewerken (z. B. Säure); oder
- Kernkraftwerken (z. B. Strahlung);

muss besondere Sorgfalt zum Schutz sämtlicher exponierter AE-Messgeräte, -Sensoren und -Vorverstärker aufgewendet werden. Das Datenerfassungssystem muss soweit wie möglich von den vorstehend genannten Risiken entfernt angeordnet sein.

Im Fall von Konstruktionen zum Betrieb in hohen oder niedrigen Temperaturen müssen im Vorfeld Messungen unter Bedingungen durchgeführt werden, die den realen Betriebsbedingungen möglichst nah kommen.

Der Einfluss des Prozessgeräuschs auf die Empfindlichkeit der Überwachung muss vor Beginn der eigentlichen Überwachung festgestellt werden.

Der Kunde/Eigentümer/Bediener muss sämtliche Informationen zu den verschiedenen Prozessphasen bereitstellen. Für die Bestimmung, ob die Überwachung kontinuierlich oder periodisch möglich ist, müssen die ungünstigsten Prozessperioden berücksichtigt werden.

5.3 AE-Ereignismechanismen

5.3.1 Allgemeines

In technischen Anwendungen wird die Nachweisbarkeit früher Stufen strukturellen Abbaus oder struktureller Beschädigung aufgrund z. B. Ermüdung und Spannungskorrosion durch die Materialversprödung unterstützt (niedrige Temperatur, Wasserstoffversprödung oder strahlungsinduzierte Versprödung, ausgehärtete Wärmeeinflusszone von Schweißnähten usw.). Die Nachweisbarkeit kann durch eingeleitete größere AE-Ereignisse im Materialvolumen aus Nebeneffekten oder -prozessen verbessert werden. Nebeneffekte sind häufig von größerer Wichtigkeit für die frühe Nachweisbarkeit im Vergleich mit stabilem Risswachstum.

Gleichzeitig auftretende Nebeneffekte oder -prozesse können starke Quellen hoher Schallemissionsaktivität und/oder höherer Maximalamplituden des transienten Signals durch die Überlappung vieler einzelner Niedrigenergieereignisse erzeugen, z. B.:

- lawinenartige Versetzungsprozesse in einer ausgedehnten plastischen Zone an der Spitze großer Risse;
- Reibverschleiß von (nicht korrodierten oder korrodierten) Rissflächen oder durch Spannungsübertragung induzierte lokale Grenzflächenreibung während Öffnungs-/Schließvorgängen von Ermüdungsrissen ohne jegliches Risswachstum;
- Prozesse bei denen Schallemissionen ausgesendet werden aufgrund der Materialmorphologie, die durch örtliche Spannungsfelder um/vor Risspitzen verursacht werden, z. B. Bruch von harten Einschlüssen oder hochschmelzenden Verunreinigungsphasen im Ferritkorn oder Korngrenzenausscheidungen;
- Bruch von Korrosionsprodukten (z. B. Rostpartikeln) im Inneren oder auf korrodierten Rissflächen usw.

5.3.2 Risswachstum

Ermüdung ist die üblichste Ursache für mechanisches Versagen von z. B. Maschinen und Konstruktionen, die Wechselbeanspruchungen ausgesetzt sind. Spannungsrisskorrosion (SCC, en: stress corrosion cracking) ist eine der gängigsten Ursachen für Versagen, in z. B. chemischen Reaktoren und Fluidübertragungsleitungen.

Schallemission ist empfindlich für mikroskopische Spröbruchereignisse, die stabile Rissausbreitung und korrosionsbedingte Bruchereignisse begleiten. Der Zusammenhang zwischen Schallemissionen aus stabilem Risswachstum in Metallen und den zugehörigen Schadensmechanismen, ob Ermüdung oder Spannungsrisskorrosion, erfordert ein weiter gefasstes Verständnis der Physik bezüglich plastischer Verformung und Bruch im Maßstab der Kristall-Mikrostruktur.

Anhang A enthält Angaben zu den wichtigsten Verformungs- und Bruchparametern in Zusammenhang mit den Schallemissionen aus stabilem Ermüdungsrisswachstum. Die treibende Kraft hinter dem Risswachstum ist die Spannungskonzentration an der Rissspitze. Solange der Riss nicht kontinuierlich unter Dehnungsenergie steht, wird seine Ausbreitung unterbleiben.

Sonstige Mechanismen stabilen Risswachstums, bei denen Schallemissionen abgegeben werden, sind die wasserstoffinduzierte Rissbildung und die thermisch induzierte Rissbildung. Die AE-Überwachung darf auch für den Nachweis von Wasserstoff-Blasenbildung, Schichtentrennung, Kriechen und Alterung (Materialabbau) verwendet werden.

5.3.3 Korrosion

Die Mechanismen der Korrosion sind andere als beim stabilen Risswachstum. Allgemeine Korrosion ist üblicherweise eine großflächige Oberflächenoxidation. Aktivität und Intensität der Schallemission sind abhängig vom Schärfegrad des ablaufenden Korrosionsprozesses.

Darüber hinaus führt üblicherweise die Spannung aufgrund von Druck- oder Temperaturschwingungsbereichen zu Rissbildung und Ablösung der spröden Oxidschicht, was zu einer hohen AE-Aktivität über den ganzen korrodierten Bereich führt.

Andere örtliche Korrosionsprozesse können möglicherweise zu Schäden mit örtlichen Spannungskonzentrationen und daraus folgendem Anriss (z. B. im Bereich von Stiftlöchern oder Lochfraß) führen.

5.3.4 Reibung, Reibverschleiß und Kavitationserosion

Diese Schadensmechanismen sind besonders intensive Schallemissionsquellen.

Kavitation in einer Flüssigkeit führt zur Implosion von Blasen, die Druckwellen von großer Intensität (bis zu 1 000 MPa) und kurzer Dauer (annähernd μs) erzeugen. Vor allem Schallemissionen von Kavitation führen zu diskreten Ereignissen, deren Schallenergie mindestens eine Größenordnung über Ereignissen liegt, die durch Turbulenzphänomene erzeugt werden.

Reibverschleiß und Reibungsphänomene erzeugen Schallemissionen mit hoher Energie und diese Mechanismen können in einem Riss während der Be- und Entlastung der Struktur erzeugt werden.

6 Überwachungsmethodik

6.1 Periodische, temporäre oder kontinuierliche Überwachung

Die Integrität oder Gesundheit einer Struktur kann durch AE-Überwachung zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Gebrauchsdauer untersucht werden (d. h. im Einsatz unter Normalbetriebslasten, bei Inbetriebsetzung und Außerbetriebsetzung usw.), vorausgesetzt, dass mögliche Schwankungen der Betriebsbedingungen

nicht in Widerspruch zu technischen Spezifikationen des AE-Messgeräts oder der Messeinrichtung während der Datenerfassung geraten.

Sehr große und/oder komplexe Strukturen, z. B. Schiffshüllen, Offshore-Plattformen oder Brücken lassen AE-Überwachung nur bei Bereichen zu, die als stark beansprucht und als ermüdungs- und/oder korrosionsempfindlich identifiziert wurden.

Unterschiedliche Verfahrensweisen zur AE-Überwachung im Einsatz können in Abhängigkeit vom Ziel der Messung angepasst werden, z. B.:

- temporäre (kurz- oder mittelfristig), wenn die Überwachung für einen einzelnen kurzen (Stunden/Tage) oder mittleren (Wochen/Monate) Zeitintervall durchgeführt wird;
- periodische, wenn die Überwachung wiederholt an derselben Struktur für spezifische Zeitperioden, nicht notwendigerweise auf Grundlage desselben Zeitintervalls, durchgeführt werden;
- kontinuierliche, wenn die Überwachung dauerhaft an derselben Struktur für eine lange Dauer (Monate oder Jahre) durchgeführt wird.

Die Methodik und die Dauer der AE-Überwachung werden ausgesucht unter Berücksichtigung:

- der Art der bekannten oder erwarteten Schadensmechanismen, die Schallemissionsquellen aktivieren, wie Risswachstum, Korrosion, Kavitation usw.;
- der Betriebsbedingungen, wie Temperatur, gefährliche Umgebungen, Druckänderungsrate, Fluidstrom, Schwingungs- oder Reibungsgeräusch, Prozesszyklusdauer usw.
- des Umgebungsgeräusches durch Wind, Regen, thermischen Spannungsabbau usw.

Die erforderlichen Zeitspannen und die Minstdauer der AE-Überwachung müssen für jede Art von Fehler oder Schadensmechanismus sowie für die Stufe und Rate des Abbaus festgelegt werden.

Andere zu berücksichtigende Faktoren umfassen: Anlagenalter, Materialart und Wanddicke, Wechsel von Fluiden oder Speichermedien mit verschiedenen Korrosivitäten in Abhängigkeit von Zeit oder Nutzung im Betrieb, dem Betriebsdruck und -temperatur usw.

Falls die Parameter, die zur Schätzung der Minstdauer der AE-Überwachung benötigt werden nur mit großer Unsicherheit bekannt sind, muss kontinuierliche Überwachung angewendet werden.

In jedem Fall muss die Minstdauer der AE-Überwachung verlängert werden, wenn relevante Anzeichen (z. B. Cluster von Schallemissionsortungen) nachgewiesen werden oder signifikante Schwankungen der AE-Aktivität oder Intensitätsrate auftreten.

Das AE-Messsystem muss bezüglich der überwachten Struktur, des nachzuweisenden Schadensmechanismus und der besonderen Messbedingungen angepasst werden.

AE-Überwachung der Struktur im Betrieb kann vielleicht nicht möglich sein, wenn Störungen aufgrund starker Betriebs- oder Umgebungsgeräuschquellen auftreten. In diesem Fall müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Geräuschquellen zu eliminieren oder auf annehmbare Grenzwerte zu reduzieren, indem Hardware- oder Software-AE-Filter verwendet werden oder indem sie durch anschließende Klassifizierung der AE-Signale ausgesondert werden.

Die AE-Überwachung von Strukturen darf auch unterstützt werden durch eine Schallemissionsprüfung (AT) in Verbindung mit der Aufbringung von geeigneter Spannung auf die Struktur, um während der Verweilzeiten Schallemissionen von beschädigten Bereichen anzuregen oder sie könnte im Rahmen einer routinemäßigen wiederkehrenden Prüfung während einer Betriebsunterbrechung durchgeführt werden.

6.2 Vor-Ort- oder ferngesteuerte Überwachung

AE-Überwachung kann entweder vor Ort oder ferngesteuert durchgeführt werden.

Abgesehen von der traditionellen verdrahteten AE-Sensortechnik, ist auch die AE-Überwachung auf Grundlage eines drahtlosen Sensornetzwerks (WSN, en: wireless sensor network) anwendbar, solange die Anforderungen an die AE-Quellenortung und die Autonomie der Stromquelle erfüllt werden.

Die schriftliche Überwachungsanweisung muss die Art der Beaufsichtigung des Überwachungssystems festlegen.

Während der vor-Ort-gesteuerten Überwachung wird das AE-System durch den Bediener beaufsichtigt, der erforderlichenfalls sofort geeignete Maßnahmen (Hardware oder Software) oder Anpassungen durchführen muss.

Die Vorteile der ferngesteuerten Überwachung sind:

- die Möglichkeit, die Daten zu sichten und zu kontrollieren sowie der Datenverarbeitung aus der Ferne durch Internet-Datenübertragung ohne dauerhafte Anwesenheit eines AE-Systembedieners vor Ort; und
- die Möglichkeit, viele Orte mit einem Team zu beaufsichtigen.

Die Beschränkungen bei ferngesteuerten Systemen sind:

- das Risiko von verzögerter Reaktionszeit des Bedieners für erforderliche Änderungen der Datenerfassungseinstellungen und Hardwarelösungen bei Problemen, die während der Datenerfassung auftreten; und
- das Erfordernis zur Bearbeitung und Komprimierung von AE-Daten auf die Hauptmerkmale, durch spezifische Algorithmen für schnelle Datenübertragung und Hardwarekostensenkung.

6.3 Beaufsichtigte oder automatisierte Überwachung

Automatisierte Überwachung ist ein System mit Warn- und Alarmfähigkeiten, mit einer Verbindung zur Beaufsichtigung.

In derartigen Fällen, in denen AE-Messungen nie durchgeführt wurden oder in denen keine Erfahrung mit dem AE-Verhalten aufgrund des Beginns und der Entwicklung eines spezifischen Schadens unter besonders kritischen Bedingungen im Betrieb vorliegt, wird eine sorgfältige Überwachung des ersten Versuchs dringend empfohlen. Die AE-Datenerfassung sollte beaufsichtigt werden bis ein annehmbarer Lernstand erreicht wurde sowie zuverlässige Alarm-/Warneinstellungen festgelegt sind und Fehlalarme vermieden werden.

Häufig angetroffene AE-Quellen, die ein oder mehr Merkmale von wachsenden Rissen aufweisen oder die Schallemissionen des Ermüdungsrisswachstums überdecken können, schließen ein:

- Schweißnähte minderer Qualität mit harmlosen (unbedeutenden) nicht metallenen Einschlüssen, die unter zyklischer Belastung ohne Entwicklung eines Risses brechen oder sich ablösen können;
- eingegrenzter Reibverschleiß, Abrieb, Reibung an Kontaktpunkten mit anderen Metallkomponenten in der Sensorgruppe;
- Reibung zwischen zwei Komponenten als Ergebnis der relativen Bewegung aufgrund von Schwingung, Wärmeausdehnung z. B. Rohrstützsattel;

- wiederholter Partikelaufrall, flüssige Tropfen an demselben Punkt einer Struktur;
- gelegentlicher Gebrauch mechanischer Werkzeuge während Instandhaltungsarbeiten;
- Ablösen und Bruch von spröden Beschichtungen und Korrosionsprodukten;
- Fluidleckagen.

In Fällen, in denen derartige AE-Quellen unwichtig sind, muss das AE-Überwachungssystem so konfiguriert werden, dass Fehlalarme verhindert werden.

7 Überwachungsmessgeräte

7.1 Allgemeine Anforderung

Bauteile von Messgeräten (Hardware und Software) müssen mindestens den Anforderungen nach EN 13477-1:2001 und EN 13477-2:2013 entsprechen.

7.2 Sensoren und Vorverstärker

7.2.1 Allgemeines

AE-Sensoren, Vorverstärker, Kopplungsmittel und Kabel müssen in Übereinstimmung mit den funktionellen Erfordernissen und den mechanischen Bedingungen und den Umgebungsbedingungen an ihrem Einbauort ausgewählt werden.

Die folgenden Funktionsanforderungen an den externen oder eingebauten Sensor-Vorverstärker müssen berücksichtigt werden:

- Eintakt-Eingang oder Gegentakt-Eingang (en: differential ended input);
- Eingangsspannungsbereich und erforderliche Verstärkung;
- Spezifikationen des Eingangsgeräuschs und erforderlicher Dynamikbereich;
- Frequenzbereich und eingebaute oder externe Frequenzfilter;
- Langzeitstabilität;
- Impulsfähigkeit und Verfahren für die Prüfimpulserzeugung (gesondert oder im Vorverstärker) für die automatische Prüfung der Kopplungsgüte.

Die folgenden mechanischen Bedingungen müssen berücksichtigt werden:

- Masse und Größe des Sensors und des externen Vorverstärkers, sofern nicht eingebaut;
- Montageverfahren, Montagehilfen und Kopplungsmittel;
- ob die Erdung des Sensorgehäuses am Prüfobjekt oder eine Masseisolierung am Prüfobjekt zulässig ist.

ANMERKUNG Für Messgeräte, die in potentiell explosionsgefährdeter Atmosphäre installiert sind, sind in den entsprechenden Normen Erdungsbedingungen festgelegt, z. B. EN 60079-14:2014, Abschnitt 9 bis Abschnitt 14.

Die Messgeräte müssen vor Schäden geschützt werden, die aus der Betriebsumgebung entstehen, wie Chemikalien, Strahlung, Eintrag von Partikeln oder Flüssigkeit. Der Schutzgrad gegen den Eintrag von

Feststoffpartikeln und Flüssigkeit muss durch den IP-Code mit Verweisung auf EN 60529:2014 festgelegt werden.

Die Messgeräte selbst dürfen weder Gefährdungen erzeugen noch die Integrität der Anlage/Struktur beeinträchtigen (siehe 7.2.6).

Unübliche Änderungen der Betriebsumgebung in Zusammenhang mit der Instandhaltung müssen berücksichtigt werden, um Schäden durch z. B. Chemikalien, Strahlung oder eine potentiell explosionsgefährdete Atmosphäre zu verhindern.

Die folgenden Umgebungsbedingungen müssen ebenfalls berücksichtigt werden:

- Betriebstemperaturbereich;
- im Fall von in Flüssigkeit getauchten Messgeräten, der Höchstdruck.

Die Messgeräte müssen auch die Industrienormanforderungen an Kabelsteckverbinder und Kabelführungen erfüllen.

7.2.2 Typische Frequenzbereiche (Bandbreite)

Der optimale Frequenzbereich für die kontinuierliche Überwachung ist stark abhängig von der Anwendung, z. B. vom Zweck der Überwachung (Nachweis von Ermüdungsrisssbildung, Korrosionsaktivität, Leckage, Verschleiß usw.), den Anforderungen des Orts des Ereignisses oder vom Höchstabstand des Sensors von der Quelle.

7.2.3 Kopplungsmittel

Üblicherweise ist ein Sensor in direktem Kontakt mit dem überwachten Objekt. Für eine optimale und stabile Wellenübertragung muss ein Kopplungsmittel zwischen dem Sensor und dem Objekt verwendet werden. Dauerhaftigkeit, Konsistenz und chemische Zusammensetzung des Kopplungsmittels müssen in Einklang stehen mit der vorgesehenen Dauer der Überwachung, dem Temperaturbereich und der Korrosionsbeständigkeit des Prüfobjekts.

7.2.4 Montageverfahren

Das Montageverfahren des Sensors wird beeinflusst durch die Dauer der Überwachung, die Schwingungs- und Beschleunigungsbedingungen sowie die Anforderungen an den mechanischen Schutz. Für eine Montagedauer von Tagen bis Wochen, dürfen magnetische Halterungen das bevorzugte Montagemittel sein. Für längerfristige Installationen, könnten Sensoren mit Metallklemmen befestigt oder mit dem Prüfobjekt unter Verwendung einer geeigneten Klebstoffkupplung verbunden werden. Zusätzlicher Schutz gegen unbefugtes Berühren, Bewegen oder Entfernen des Sensors muss berücksichtigt werden.

7.2.5 Temperaturbereich, Gebrauch von Wellenleitern

Der festgelegte Temperaturbereich des AE-Sensors muss die Betriebstemperaturbedingungen des Prüfobjekts erfüllen, ansonsten müssen Wellenleiter zwischen Sensor und Prüfobjekt verwendet werden.

7.2.6 Verwendung in explosionsgefährdeter Atmosphäre

Falls der AE-Sensor in einer potentiell explosionsgefährdeten Atmosphäre zu installieren ist, sollte für die Klassifizierung des gefährdeten Bereichs Richtlinie 1999/92/EG [2] berücksichtigt werden.

In Übereinstimmung mit der identifizierten Zone, sollten der AE-Sensor und das Schutzsystem der Richtlinie 2014/34/EU [1] entsprechen.

Geltende Normen zu elektrischen Einrichtungen in explosionsgefährdeten Bereichen sind:

- EN 60079-0:2014 für allgemeine Anforderungen an Betriebsmittel;
- EN 60079-11:2012 für den Geräteschutz durch Eigensicherheit;
- EN 60079-14:2014 für die Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen.

7.2.7 Eingetauchte Sensoren

Falls der Sensor in eine Flüssigkeit eingetaucht werden muss, muss der IP-Code des Sensors (nach EN 60529:2014) auf mindestens IP 68 festgelegt werden. Der Sensor und sonstiger eingetauchter Zubehör muss bis zum höchstmöglichen Druck der Flüssigkeit dicht sein. Sensoren und Verkabelung müssen langfristig den chemischen Eigenschaften/der chemischen Zusammensetzung der Flüssigkeit entsprechen.

7.2.8 Eingebaute Elektronik (Verstärker, Bandpassfilter, Effektivwertwandler, ASL-Wandler)

Sowohl passive Sensoren als auch Sensoren mit einem eingebauten Vorverstärker mit geeigneter Bandbreite sind verfügbar. Sensoren mit eingebauter Elektronik sind weniger anfällig für elektromagnetische Störgrößen, weil ein Kabel vom Sensor zum Vorverstärker entfällt. Diese Sensoren sind üblicherweise etwas größer und schwerer und haben einen stärker begrenzten Temperaturbereich.

Sensoren dürfen auch umfassen:

- einen Signal-zu-Effektivwert-Wandler;
- einen Signal-zu-ASL-Wandler und/oder einen Grenzwert-Komparator mit digitalem Ausgang;
- eine vollständige Signalverarbeitung mit einer verdrahteten oder drahtlosen Schnittstelle.

7.2.9 Erdungsanforderungen

Die Erdung des Sensorgehäuses, wenn sie mit der Abschirmung des Signalkabels verbunden ist, kann möglicherweise das Rauschen erhöhen und das Signal-Rausch-Verhältnis und die Empfindlichkeit senken.

Intrinsisch sichere Sensoren erfordern üblicherweise eine prüfobjektseitige Erdung. In diesem Fall müssen die Erdanschlüsse von Sensor und Signalverarbeitung unter Verwendung von Isolationsbarrieren (auch Signalisolatoren genannt) isoliert werden.

7.2.10 Externe Vorverstärker

Wenn der gewählte Sensortyp keinen Vorverstärker enthält, müssen externe Vorverstärker verwendet und über ein zusätzliches Kabel an den Sensor angeschlossen werden. Die in 7.2.1 zusammengefassten funktionellen, mechanischen Bedingungen und die Umgebungsbedingungen müssen für die Kombination aus Sensor, Vorverstärker und Kabel berücksichtigt werden.

7.2.11 Sensor- und Vorverstärkerkabel

Zusätzlich zu 7.2.1 müssen Kabel, die zur Verbindung von Sensoren, Vorverstärkern und Signalverarbeitung verwendet werden, den Herstellerfestlegungen entsprechen und erfordern die Berücksichtigung von:

- ein- oder mehradrig;
- Kabelimpedanz, Dämpfung, Gleichstromwiderstand, Höchstlänge;
- coaxial oder verdrehte Paare;

- Art des Kabelsteckverbinders und der Kabeldurchführung im Fall eines eingebauten Kabels;
- Kabelabschirmungsanforderungen (EMI, Übersprechen usw.);
- sonstige Installationsanforderungen (Befestigung, Mindestbiegeradius, Schutz von Kabelsteckverbinder oder -einlass);
- Flammhemmung.

7.3 Tragbare AE-Einrichtungen

Ein auf tragbare Anwendung ausgelegtes Messgerät zur AE-Überwachung enthält üblicherweise eine oder eine kleine Anzahl an AE-Kanälen. Die Wahl eines tragbaren Geräts beruht im Allgemeinen auf mehreren Faktoren, wie Kosten, Prüfdauer, Gefährdung und Verfügbarkeit von externer Stromzufuhr. Zum Beispiel werden tragbare Geräte häufig für die Leckageüberwachung von Ventilen verwendet.

7.4 Ein- oder Mehrkanal-AE-Geräte

Einkanalsysteme werden üblicherweise für kleine Prüfobjekte verwendet, bei denen keine Berechnung des Orts des Ereignisses erforderlich ist oder bei denen mehrere Sensoren parallelgeschaltet werden, mit ausreichender Empfindlichkeit, um das Prüfobjekt abzudecken.

Mehrkanalsysteme werden an größeren Strukturen zu Zwecken der Ereignisortung und der Aussonderung verwendet.

7.5 Messparameter

7.5.1 Parameter eines transienten Signals

AE-Systeme für die hitbasierte Messung mit Ortungsfähigkeit müssen EN 13477-1:2001 entsprechen und dürfen zusätzlich für die Frequenz- und/oder Hüllkurvenanalyse Wellenformdaten erfassen und speichern. Ortungsberechnungen müssen auf Zeitunterschieden zwischen Hit-Ankunftszeiten oder auf dem Kreuzkorrelationsverfahren beruhen.

7.5.2 Parameter eines kontinuierlichen Signals

Eines oder eine beliebige Kombination der folgenden Merkmale dürfen kontinuierlich gemessen werden:

- ASL (der arithmetische Mittelwert des Logarithmus des gleichgerichteten AE-Signals über eine festgelegte Dauer), kontinuierlich in einem festgelegten Zeitintervall abgetastet;
- Effektivwert (die Quadratwurzel des Mittelwerts des Quadrats des AE-Signals über eine festgelegte Dauer), kontinuierlich in einem festgelegten Zeitintervall abgetastet;
- Höchstwert der Amplitude über ein festgelegtes Zeitintervall;
- Anzahl von Hits oder Anzahl von Überschwingungen über einen festgelegten Zeitintervall;
- Signalenergie über ein festgelegtes Zeitintervall.

ANMERKUNG Die vorstehend genannten Messungen der Maximalamplitude, der Hits, der Anzahl der Überschwingungen und der Signalenergie sind zeitgesteuerte Messungen.

7.6 Verifizierung der Sensorempfindlichkeit und Kopplungsgüte

Der zuverlässige Dauerbetrieb eines AE-Überwachungssystems erfordert die Implementierung eines Software-gesteuerten Verifizierungsverfahrens, dass eine Abnahme der Sensorkopplungsgüte oder der Sensorempfindlichkeit für jeden Sensor nachweist. Jegliche Verschlechterung der Empfindlichkeit, z. B. aufgrund gängiger Alterungsprozesse, Strahlungseinflüsse und Änderungen in der Kopplungsgüte müssen nachgewiesen und Korrekturmaßnahmen innerhalb einer festgelegten Reaktionszeit ergriffen werden.

7.7 Externe Parameter

Externe Parameter, die die AE-Aktivität beeinflussen können, werden üblicherweise auch überwacht, z. B. Belastung, Dehnung, Druck und Umgebungsbedingungen, wie Temperatur, Regen, Wind, Prozessgeräusche, Schwingung.

Folgendes muss berücksichtigt werden:

- Anzahl und Art der externen Parameter;
- erforderliche Genauigkeit und Auflösung;
- analoge Signalaufbereitung, falls erforderlich (z. B. Brückenverstärker);
- zusätzliche digitale Schnittstelle, falls erforderlich.

Das Messgerät muss die Korrelation der externen und transienten AE-Parameter mit der erforderlichen Zeitauflösung ermöglichen. Je höher die Abtastrate der externen Parameter ist, desto besser ist die Korrelation.

7.8 AE-System

Das AE-System muss die erforderlichen Arten von Daten (transiente AE, kontinuierliche AE, externe Parameter) über die festgelegte Überwachungsdauer in Übereinstimmung mit der schriftlichen Überwachungsanweisung aufzeichnen.

Üblicherweise erfasst ein AE-System Parameter eines transienten Signals in einer burstorientierten Weise, das bedeutet einen Burst-Datensatz je nachgewiesenem Burst. Zusätzlich dürfen externe Parameter in einer burstorientierten oder zeitorientierten Weise erfasst werden. Bei einer burstorientierten Messung ist die geeignete Einstellung der Nachweisgrenze entscheidend. In Anwendungen, bei denen sich das Hintergrundgeräusch erheblich ändert, könnte eine vollzeitgesteuerte, Schwellenwert-unabhängige Messung die bevorzugte Wahl sein. In diesem Fall werden die gemessenen Parameter eines transienten Signals eher in einem konstanten Zeitintervall erfasst als anhand der ersten und letzten Schwellenwertüberschreitung, wie in EN 13477-1:2001 festgelegt.

Die folgenden Strategien müssen berücksichtigt werden:

- Schwellenwertänderungen für hitorientierte Messungen;
- Zeitintervall für zeitorientierte Messungen;
- Echtzeit-Datenanalyse;
- Wellenformspeicherung;
- Datenreduzierung;

- Daten-Backup, Datenarchivierung und Datensicherheit;
- Fernzugriff;
- System-Selbsttest (Kontrolle, Plausibilität, Korrekturmaßnahmen, Benachrichtigung, Bestätigung).

Systemdiagnosen müssen die Betriebsfunktionsfähigkeit der Überwachungseinrichtung über die gesamte Überwachungsdauer mitteilen und aufzeichnen.

Andere wichtige zu berücksichtigende Punkte sind:

- Anzahl der AE-Kanäle;
- aufzuzeichnende AE-Parameter;
- Größe, Masse und sichere Verwahrung des AE-Messsystems;
- Stromversorgung und -verbrauch;
- unterbrechungsfreie Stromversorgung;
- Erdung;
- Echtzeit-Betriebssystemanforderungen;
- sonstige Schnittstellen, z. B. Umgebungsparameter (Internet, WIFI).

7.9 Überwachung in gefährdeten Bereichen

Für die Überwachung in gefährdeten Bereichen, z. B. im Fall der Produktion, Lagerung oder des Transports von Gefahrgut muss die AE-Messeinrichtung den einschlägigen Sicherheitsanforderungen, Vorschriften und Normen, z. B. Regeln von Klassifikationsgesellschaften für Schiffe, RID für Eisenbahntankwagen oder ADR für Straßentankfahrzeuge entsprechen.

Für die Überwachung von Strukturen, die mit explosionsgefährdeten Gasen oder Flüssigkeiten befüllt sind, müssen die AE-Messeinrichtungen und -Messgeräte die ATEX-Anforderungen erfüllen.

Unabhängig davon, ob die Messinstallation temporär oder dauerhaft ist, können möglicherweise weitere Sicherheitsmaßnahmen notwendig sein, um die Überwachungsmessgeräte vor mechanischer, elektrischer oder umgebungsbedingter Beschädigung zu schützen.

8 Messungen im Vorfeld der Überwachung

8.1 Wellenausbreitungsverhalten

8.1.1 Allgemeines

Das Wellenausbreitungsverhalten (Geschwindigkeit, Schwächung) ist abhängig von mehreren Faktoren, wie dem Material und der Materialwanddicke der überwachten Einheit, die in den nachfolgenden Unterabschnitten ausführlich besprochen werden.

8.1.2 Enthaltene Flüssigkeiten oder Gase

Wellenpfade durch die Wand der Konstruktion und/oder durch das Fluid müssen berücksichtigt werden. Die Messungen im Vorfeld der Überwachung müssen durchgeführt werden, um sämtlichen Füllständen

Rechnung zu tragen, die im Normalbetrieb der Anlage auftreten können (z. B. zwei Messreihen bei Mindest- und Höchstfüllständen).

8.1.3 Wanddicke (Material)

Der Wellentyp und somit die Wellenausbreitung können möglicherweise in verschiedenen Teilen der Konstruktion unterschiedlich sein (dünne oder dicke Wände). Daher müssen die erkennbare AE-Geschwindigkeit und die Schwächungskurve für jedes Teil in dem ein besonderer Wellentyp gefunden wurde (Lamb-Wellen, Rayleigh-Wellen usw.) berechnet werden.

BEISPIEL Diese Information kann aus der Wanddicke t und der Sensorfrequenz f hergeleitet werden. Für Stahl gelten die folgenden Verhältnisse:

$t \times f < 6 \text{ mmMHz}$: hauptsächlich Lamb-Wellen

$t \times f > 10 \text{ mmMHz}$: hauptsächlich Rayleigh-Wellen

8.1.4 Geometrie der Konstruktion

Merkmale wie ein Ventil oder ein Mannloch müssen bei der Messung der Wellengeschwindigkeit und Schallschwächung in der Konstruktion berücksichtigt werden. Eine wesentliche Änderung in der scheinbaren AE-Wellengeschwindigkeit oder den Schallschwächungswerten kann aufgrund damit verbundener, schattengebender Effekte auftreten. Es wird empfohlen, dass zusätzliche Sensoren an diesen Punkten verwendet werden, wann immer Verschattung die Empfindlichkeit oder die Genauigkeit der Quellenortung verringert.

8.1.5 Isolierung

Die Isolierung muss örtlich entfernt werden, um die Sensoren entweder direkt oder über Wellenleiter anzubringen. Es dürfen Sensorfenster durch die Isolierung geschnitten werden, um die Messungen der Wellengeschwindigkeit und der Schallschwächung zu ermöglichen.

8.1.6 Oberflächenvorbereitung

Die Oberfläche des Anlagenteils unterhalb des Sensors muss sauber und eben sein, um die maximale Wirksamkeit der Kopplung sicherzustellen. Zunder, Oberflächenkorrosion, Beschichtungen und/oder Lackierungen sind in vielen Branchen weit verbreitet. Sie müssen vor den Messungen von den Sensororten entfernt werden. Mechanische Oberflächenbehandlung (z. B. örtliches Schleifen) kann notwendig sein.

Für die Messungen im Vorfeld der Überwachung, wie auch für die Überwachung selbst muss dieselbe Art von Oberflächenvorbereitung angewendet werden.

8.2 Hintergrundgeräuschmessungen

8.2.1 Repräsentative Anordnung

Die Anordnung des Sensors für im Vorfeld stattfindende Hintergrundgeräuschmessungen, muss so gewählt werden, dass sie repräsentativ für die Überwachungsstellen ist. Die unterschiedlichen in der Konstruktion festgestellten Ausbreitungspfade (dünne/dicke Wände und enthaltene(s) Flüssigkeit/Gas) müssen berücksichtigt werden. Diese Messungen dürfen gleichzeitig (mit mehreren Sensoren) durchgeführt werden oder einzeln mit einem einzelnen Sensor. Im letzteren Fall muss darauf geachtet werden, jede Geräuschmessung für eine ausreichende Dauer (siehe 8.2.4) durchzuführen.

8.2.2 Prozessgeräusch

Alle möglichen Prozessbedingungen müssen identifiziert und die zugehörigen Prozessgeräusche müssen gemessen werden, um den Mindestwert, den mittleren Wert und den Höchstwert des durch diesen Prozess erzeugten Hintergrundgeräuschs zu identifizieren. Der Anlagenbediener muss Informationen zu allen

Betriebsbedingungen bereitstellen, die während des Normalbetriebs der Struktur vorgefunden werden können.

Beispiele für nützliche Informationen sind:

- Befüllen/Entleeren von Behältern, mit Höchstgeschwindigkeiten in Liter/Stunde;
- Last-/Temperaturwechsel;
- Nachbarprozesse.

Außerdem ist es notwendig, wenn eine hochintensive oder hochaktive Hintergrundgeräuschquelle festgestellt wird und ihre Emission während der Überwachung nicht verringert werden kann, diese Quelle, unter Verwendung von Abschirmsensoren oder durch Hardware- und/oder Software-Filtern zu isolieren.

8.2.3 Sonstige Störgeräusche

Das Zusammenwirken mit anderen Instandhaltungs- oder Inspektionsarbeiten in der Nähe kann die AE-Überwachung beeinträchtigen. Wenn dies eine gängige Erscheinung ist, wird empfohlen, im Vorfeld eine Hintergrundgeräuschmessung durchzuführen, für jede mögliche Geräuschquelle, die die Überwachung stören kann, z. B. Lichtbogenschweißen, Schleifen. Jedoch wird in der Regel empfohlen, dass diese Aktivitäten während der Überwachung selbst nach Möglichkeit vermieden werden. Die Dauern von Instandhaltungsarbeiten müssen dem Aufsichtführenden über die AE-Überwachung zur Kenntnis gebracht werden, um Fehlalarme zu verhindern.

Vorsichtsmaßnahmen müssen ergriffen werden, um Quellen von elektromagnetischer Störung (EMI) und umgebungsbedingtes Geräusch zu verhindern/reduzieren.

8.2.4 Dauer der Geräuschabtastung

Das Zeitintervall, in dem die Hintergrundgeräuschmessungen durchgeführt werden, muss vollständig repräsentativ für die Überwachungsdauer sein. Bei sich wiederholenden zyklischen Prozessen mit niedriger Frequenz, die eine bekannte Zyklusdauer haben, muss das Zeitintervall mindestens einem vollständigen Zyklus entsprechen, wenn möglich, vorzugsweise mehrere Zyklen.

8.3 Empfindlichkeit der AE-Überwachung unter Verwendung linearer oder planarer Ortung

Die Sensoren müssen so auf der Struktur angeordnet werden, dass eine Quelle mit einer niedrigeren Maximalamplitude des transienten Signals K_{AE} dB als eine Hsu-Nielsen-Quelle nachgewiesen und geortet werden kann mit der festgelegten Genauigkeit an jeder beliebigen Position des zu überwachenden Anlage-teils. Das muss auch unter Prüfbedingungen erreichbar sein, wenn Geräusche aufgrund Druckbeaufschlagung oder externer Belastung vorliegen können.

Der als der AE-Nachweisbarkeitsparameter bezeichnete Wert von K_{AE} , muss in der Überwachungsanweisung festgelegt werden (siehe Anhang A, A.3).

9 Überwachungsverfahren

9.1 Sensorpositionierung

Sensoren müssen so positioniert werden, dass der Schadensmechanismus in den Grenzen des überwachten Bereichs nachgewiesen werden kann, bei der Erfassungsfrequenz und dem Hintergrundgeräuschpegel.

Der Abstand der Sensoren ist abhängig von dem angewendeten Ortungsverfahren (EN 14584:2013 für planare Ortung und EN 15495:2007 für Zonenortung). Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, um Abschattungseffekte aufgrund von Stützen und Zusatzausrüstungen zu verhindern. In Bereichen von spezifischem Interesse können zusätzliche Sensoren erforderlich sein. Diese Bereiche umfassen unter anderem erwartete „Schwerpunkt“-Bereiche früherer Schäden, Spannungskonzentrationen oder Regionen mit abgebautem Material.

Im Fall von unvermeidlichem Hintergrundgeräusch kann die Verwendung zusätzlicher Sensoren z. B. Abschirmsensoren für die Geräuschunterdrückung notwendig sein.

Wenn möglich, müssen Sensoren so positioniert werden, dass sie nicht leicht beschädigt werden. Wenn das nicht möglich ist, müssen geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Zugangsschwierigkeiten und -beschränkungen hinsichtlich des Kabelverlaufs können bei der Sensorpositionierung eine Rolle spielen.

Wenn wiederholte Überwachungsprüfungen an derselben Struktur durchgeführt werden, ist es für den Ergebnisvergleich und die Bewertung der Schadensentwicklung grundlegend wichtig, die identischen Sensorpositionen zu verwenden.

9.2 Externe Parameter

Externe Parameter wie Spannung, Dehnung, Versatz und prozessbezogene Variablen, wie Strömung, Druck oder Temperatur bieten wichtige Informationen bei der Durchführung von AE-Datenanalysen. Daher ist es wichtig, derartige Parameter wenn möglich in der AE-Datenakte aufzuzeichnen. Externe Parameter spielen eine wesentliche Rolle bei der Trennung von echten AE-Daten von Geräuschen und sie können bei der Einstufung der AE-Aktivität wichtig sein.

9.3 Verifizierung und Leistung von Messgeräten

Das Überwachungssystem muss vor dem Überwachungsbeginn und in regelmäßigen Abständen während der Überwachungsdauer verifiziert werden. Der Hintergrundgeräuschpegel muss vor und nach der Überwachung gemessen und aufgezeichnet werden.

Wenn die Möglichkeit einer verringerten Systemleistung im Verlauf der Überwachungsdauer besteht (z. B. Kanalfehler im Verlauf einer Langzeitüberwachung), muss wenn möglich ein Mittel vorhanden sein, dieses Auftreten automatisch festzustellen (z. B. E-Mail). Im Fall von Unterbrechungen der Überwachungsdauer aufgrund einer Fehlfunktion des Systems muss der Asset-Eigentümer/Bediener innerhalb der vereinbarten Dauer informiert werden.

Eine Fehlfunktion des Systems könnte durch Stromausfall, Sensorausfall oder Systemausfall begründet sein. Im Fall eines Kommunikationsausfalls ist es wichtig zu verifizieren, ob das System in Betrieb ist oder nicht. Um Datenverlust aufgrund Stromausfalls zu verhindern, dürfen eine unterbrechungslose Stromversorgung oder andere Stromabsicherungssysteme gefordert werden.

9.4 Datenerfassung und Online-Filterung

Bei der Überwachung im Betrieb sind große Datenmengen üblich. Diese Daten werden üblicherweise lokal mit regelmäßigen Backups gespeichert.

Zu Beginn wird die beaufsichtigte Überwachung vor Ort durchgeführt, so dass die Empfindlichkeit, lokale Filterparameter und die Geräuschreduzierung eingestellt werden können, um die optimale Einstellung für die kontinuierliche Überwachung zu erreichen. Für weitere Langzeit-Fernüberwachung, kann eine Filterung erforderlich sein, so dass nur relevante Daten übermittelt werden. Diese Filterung kann auf spezifischen Kriterien beruhen, z. B. Zeit, Laufzeitdifferenz, Ort und externen Parametern.

Gute Kommunikation mit dem örtlichen Bediener ist wichtig, um Prozessauslenkungen zu identifizieren, die zusätzliche AE-Daten und Geräusche erzeugen könnten.

10 Datenanalyse

10.1 Allgemeines

Während der Überwachung im Betrieb müssen die AE-Rohdaten zusammen mit den externen Parameterdaten (Umgebungs- und Betriebsbedingungen) aufgezeichnet werden. Die Daten müssen im Online-Modus und schließlich im Nachbearbeitungsmodus Analysen unterzogen werden. Alle Daten müssen in einer Form zur Verfügung gestellt werden, die die Auslegung im Sinne des Schärfegrads von AE-Quellen und der entsprechenden Schadensentwicklung ermöglichen.

Die Zeit des Auftretens von AE-Aktivität und die damit zusammenhängenden externen Parameterdaten sind die wichtigen Merkmale, die zusammen mit dem Ort des AE-Ereignisses die Informationen zur Signifikanz einer AE-Quelle liefern. Die angewendeten Quellenortungsverfahren sind abhängig von der Art der Anwendung. Verfahren für die lineare Ortung, planare Ortung, Zonenortung in einigen Fällen volumetrische Ortung können angewendet werden.

Die Daten werden mit dem Zweck analysiert, AE-Quelle nachzuweisen und ihre Signifikanz (Klassifizierung) zu bestimmen, in Bezug auf den sicheren Betrieb der überwachten Konstruktion.

Es ist Sorgfalt erforderlich, um sicherzustellen, dass die zum Filtern der Hintergrundgeräuschquellen ergriffenen Vorsichtsmaßnahmen nicht die von der Konstruktion herrührenden AE-Signale überdecken dürfen.

Die Bestimmung der Nachweisbarkeit von AE-Signalen von Fehlern unter allen Betriebsbedingungen wird durch vor-Ort-Messung des Hintergrundgeräuschs im Vorfeld unter verschiedenen Betriebsbedingungen ermöglicht.

Es ist wichtig, die erforderliche Dauer der Überwachung (siehe 6.1) festzulegen.

10.2 Online-Analyse

Der Umfang der Online-Analyse ist abhängig von der besonderen Anwendung (Art der überwachten Konstruktion, technische Prozesse, Umgebung usw.).

Histogramme, Plots, Tabellen und Lagepläne sollten so angegeben werden, dass die Echtzeitkontrolle der/des überwachten Konstruktion/Bauteils erforderlichenfalls aufrechterhalten bleibt.

Die Online-Analyse muss vor Perioden mit ungewöhnlich hoher AE-Aktivität oder ungewöhnlich hohem Hintergrundgeräusch warnen, um einen höhere Analysestufe auszulösen.

10.3 Datenverarbeitung

Datenverarbeitung wird verwendet, um Echtzeit-Befunde zu bestätigen, bei Bedarf weitere Datenfilterung und Korrelationsanalyse durchzuführen und das endgültige Datenformat für die Berichterstattung bereitzustellen. Die Hauptaufgaben der Datenverarbeitung sind die Trennung der AE-Quellen vom Hintergrundgeräusch und ihre Klassifizierung.

10.3.1 Analyse des Hintergrundgeräuschs

Um ein hohes Maß an Nachweisbarkeit und eine gute Ortungsgenauigkeit zu erreichen, muss auf folgendes geachtet werden:

- die Quellen von störendem Hintergrundgeräusch (mechanisch, elektrisch, Produktströmungsgeräusch, Prozesse usw.);

- geometrisch bedingte Wellenablenkung (an Ventilen, Düsen, Mannlöchern, überlappten Verbindungen usw.);
- Schwächung von Schallwellen (durch Beschichtungen, Umhüllungen, Isolierungen usw.); und
- mögliche mehrfache Wellenpfade zwischen Quelle und Sensorort (über metallische Wand oder Flüssigkeit usw.).

Das Hintergrundgeräusch ist üblicherweise eine Kombination von Umgebungs- und Prozessgeräuschen. Manchmal ist es unvermeidbar, dass Umgebungsgeräusche, sogar Luftschall zusätzlich zu den zu betrachtenden Schallemissionen aufgenommen werden. Das können Geräusche von Wetterbedingungen, Straßenverkehr, Schienenverkehr, Flugzeugen, Vögeln usw. sein. In diesen Fällen könnte es hilfreich sein, einen Sensor (Abschirmsensor) hinzuzufügen, um den Luftschall zu überwachen (Wasserschall in Unterwasserumgebungen), um die Umgebungsgeräusche zu identifizieren und außer Acht zu lassen.

Hintergrundgeräusch darf z. B. reduziert werden durch:

- Auswahl einer geeigneten Überwachungsdauer;
- Isolierung der Konstruktion von Geräuschquellen;
- Erhöhung der Nachweisgrenze;
- Frequenzfilterung;
- Analyse zur Mustererkennung; und/oder
- Polygon-Prozessorfilterung.

10.3.2 Datenanalyse der Vorortung

Änderungen in der AE-Aktivität zusammen mit externen Parametern können die Identifizierung von Störeinflüssen, z. B. Wind, Temperatur ermöglichen. Sie können auch übermäßigen Schaden und das Erreichen von instabilen Schadensstufen von großer Schwere anzeigen, z. B. während konstanten Raten zunehmender Belastung. Der akzeptierte Bereich der Hit-Rate muss während der Überwachung im Vorfeld festgelegt werden.

Externe Parameter können für die Unterdrückung von Hintergrundgeräuschen oder die Trennung von AE-Daten mit Bezug auf die Belastung verwendet werden. Die Korrelation der AE-Daten mit einem externen Parameter, wenn der letztgenannte die primäre Belastungsquelle ist, ist für die Beurteilung des Ermüdungsschadens in Ingenieurkonstruktionen entscheidend (z. B. siehe Anhang A).

10.3.3 Ort des AE-Ereignisses

Ein Ort des AE-Ereignisses beruht auf Messungen der Ankunftszeit, die mit einer Sensorgruppe durchgeführt werden.

Die Hits, die durch ein einzelnes AE-Ereignis an verschiedenen Sensoren der Gruppe erzeugt werden, müssen identifiziert und gruppiert werden, um eine ereignisbezogene Trennung innerhalb der AE-Daten zu erreichen. Ein Ereignis besteht aus dem ersten Hit und allen anschließenden Hits, die festgelegte Zeitkriterien erfüllen.

Die Unterschiede der Ankunftszeiten zwischen den Hits, die einem AE-Ereignis zugeordnet werden, werden bei der Berechnung des Ortes dieses Ereignisses verwertet. Verschiedene Ortungslogarithmen können in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Anwendung verwendet werden.