

# Schallemissionsprüfung Grundlagen – Gerätetechnik – Anwendungen

Inhalt:

1	Übersicht .....	1
2	Wie Schallemission entsteht .....	2
3	Die Schallemissionsprüfung – ein <i>integrales</i> Prüfverfahren .....	2
4	Die Schallemissionsprüfung – ein <i>passives</i> Prüfverfahren .....	2
5	Die Schallemissionsprüfung – ein <i>dynamisches Echtzeit</i> Prüfverfahren .....	2
6	Prinzipschema der Schallemissionsprüfung .....	3
7	Transiente und kontinuierliche Signale .....	3
8	AE-Merkmale .....	4
9	Die Schallemissionsmesskette .....	5
10	Ortung nach Zeitdifferenzen .....	6
11	Ortungsdarstellung .....	7
12	Schluss .....	7

## 1 Übersicht

Die Schallemissionsanalyse ist eine äußerst leistungsstarke und vielseitig verwendbare Technologie zur zerstörungsfreien Prüfung von metallischen Druckbehältern, Rohrleitungssystemen, Reaktoren und ähnlichem. Dieser Beitrag ist hauptsächlich dieser Anwendung gewidmet, weitere Anwendungen sollen hier nur der Übersicht wegen aufgeführt werden:

- Zerstörungsfreie Prüfung von mechanisch stark belasteten Komponenten oder kompletten Strukturen aus faserverstärkten Kunststoffen und Verbundwerkstoffen, z. B. für die Luft- und Raumfahrt
- Materialforschung (z. B. Ermittlung von Materialeigenschaften, Versagensmechanismen und Schädigungsverhalten)
- Qualitätsprüfung und -überwachung, z. B. prozessbegleitende Schweißüberwachung, Überwachung von Aushärtungsprozessen, Holz Trocknungsprozessen, Serienprüfung von Keramiktteilen, Ritztest, u.ä.
- Online Leckageprüfung und -ortung, vom kleinen Ventil bis zum 100 m Durchmesser großen Tankboden
- Geologische und mikroseismische Forschung
- Detektion und Ortung von Hochspannungs-Teilentladungen, z.B. in Großtransformatoren

Als Abkürzung von Schallemission wird hiernach gemäß der ZfP Norm EN 1330-9 das Kürzel „AE“ (für Acoustic Emission) benutzt. Der Begriff Schallemissionsprüfung wird gemäß EN473-2000 mit „AT“ (Acoustic Emission Testing) abgekürzt.

## 2 Wie Schallemission entsteht

Alle festen Materialien sind elastisch, d.h. sie dehnen oder stauchen sich unter Last, und federn zurück, wenn man sie entlastet. Je höher die Last und Dehnung, umso höher die gespeicherte elastische Energie. Überwindet man die Elastizitätsgrenze, kommt es je nach Zähigkeit des Materials gleich zum Bruch (wenn sehr spröde) oder zur plastischen Verformung und nach entsprechender Dehnung zum Bruch. Befindet sich in dem elastisch gedehnten Material ein Defekt, z.B. ein Schweißbindefehler, ein nichtmetallischer Einschluss, eine nicht vollständig verschweißte Gasblase o. a., dann konzentrieren sich dort Spannungen und es entstehen Risse, die das Material lokal ruckartig entspannen. Es kommt zu einem kurzzeitigen Bewegungsstoß, einem **Schallemissionsereignis**, zur Ausbreitung einer elastischen Welle, die mit geeigneten Sensoren aufgenommen, verstärkt und analysiert werden kann. Die Schallemissionsprüfung erkennt und interpretiert die akustischen Ereignisse aus solchen Rissvorgängen und kann sehr früh eine beginnende Schädigung in dem zu prüfenden Objekt erkennen, orten und anzeigen.

## 3 Die Schallemissionsprüfung – ein *integrales* Prüfverfahren

Ein kurzzeitiges, transientes Schallemissionsereignis entsteht durch freigesetzte elastische Energie, einen lokalen Ruck, einen lokalen Bewegungssprung. Dieser lokale Ruck stößt die Umgebung an, die elastisch nachgibt und zurückfedert. So entsteht eine elastische Welle, die sich von der Quelle ausgehend fortbewegt - und auch nicht angehalten werden kann.

Mit einer relativ kleinen Zahl von Sensoren an festen Positionen kann eine Struktur zu 100% überwacht bzw. geprüft werden. Es ist nicht erforderlich, die Sensoren über das Prüfobjekt zu bewegen, um den Fehler zu suchen!

## 4 Die Schallemissionsprüfung – ein *passives* Prüfverfahren

AT verwendet (im Gegensatz zur Ultraschallmethode) keine akustische Anregung. Stattdessen muss das Prüfobjekt mechanisch belastet sein oder werden, damit bestehende Defekte wachsen bzw. sich bewegen und Schallemission erzeugen. Die Schallemissionsanalyse befasst sich mit Signalen, die durch den Defekt selbst entstehen und nicht beliebig reproduzierbar sind.

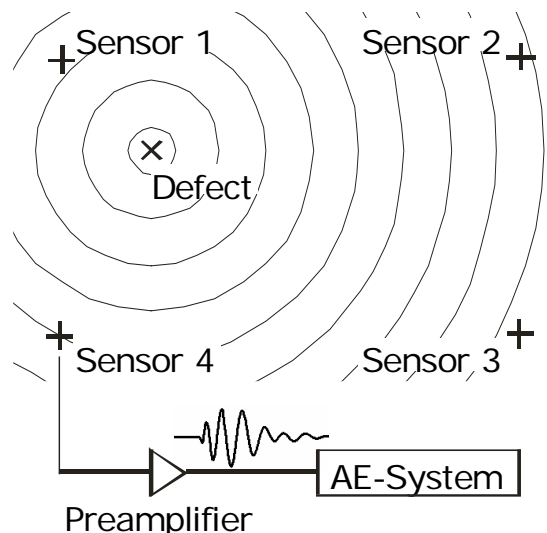


Abb. 1: Schallemissionsausbreitung (planar)

## 5 Die Schallemissionsprüfung – ein *dynamisches Echtzeit* Prüfverfahren

Schallemission entsteht in dem Moment, wenn der Defekt ein Stückchen wächst, oder wenn sich Rissufer reiben, z.B. wenn sich ein Riss bei Entlastung wieder schließt. Damit Schallemission entsteht, muss das Prüfobjekt meist über das normale Maß hinaus mechanisch belastet werden. Die Schallemissionsanalyse bietet sich daher insbesondere dort an, wo ein Bauteil zur Prüfung ohnehin über das normale Maß hinaus belastet wird, z.B. bei der Druckprüfung von Behältern. Die Schallemission „hört“ die Defekte (nur) im Moment des Entstehens, was hier mit Echtzeitfähigkeit ausgedrückt sein soll. Auf Grund dieser Echtzeitfähigkeit kann die Schallemissionsprüfung auch zur Überwachung der Druckprüfung eingesetzt werden, um rechtzeitig vor einer beginnenden Zerstörung und einer Gefahr für Umwelt oder Prüfobjekt zu warnen.

Think AE - think Vallen! User-friendly, reliable, up to date

## 6 Prinzipschema der Schallemissionsprüfung

Bei der Schallemissionsprüfung hat man es immer mit einer Prozesskette zu tun, deren Zusammenwirken in Abb. 2 schematisch dargestellt ist: Zunächst sind im Prüfobjekt mechanische Spannungen zu erzeugen, üblicherweise durch eine externe mechanische Prüfbeanspruchung. Werkstoffeigenschaften und Umgebungsbedingungen beeinflussen das Werkstoffverhalten und den Einsatzpunkt, wann elastische Energie, z.B. durch Rissbildung, freigesetzt wird. Die elastische Welle breitet sich über das Material aus und wird mit AE-Sensoren aufgenommen, in das elektrische AE-Signal umgesetzt, dieses wird verstärkt und dem AE-Gerät zugeführt. Das AE-Gerät verarbeitet das AE-Signal, setzt die Form der empfangenen Wellenpakete in Merkmaldatensätze um, errechnet die Quellorte, bereitet die Daten statistisch auf, und zeigt diese in geeigneter Form grafisch und numerisch an.

Sogenannte parametrische Kanäle messen, über eine geeignete Sensorik, die Umgebungsbedingungen und die externe Belastung, damit die detektierte Schallemission mit diesen Größen in Bezug gesetzt werden kann.

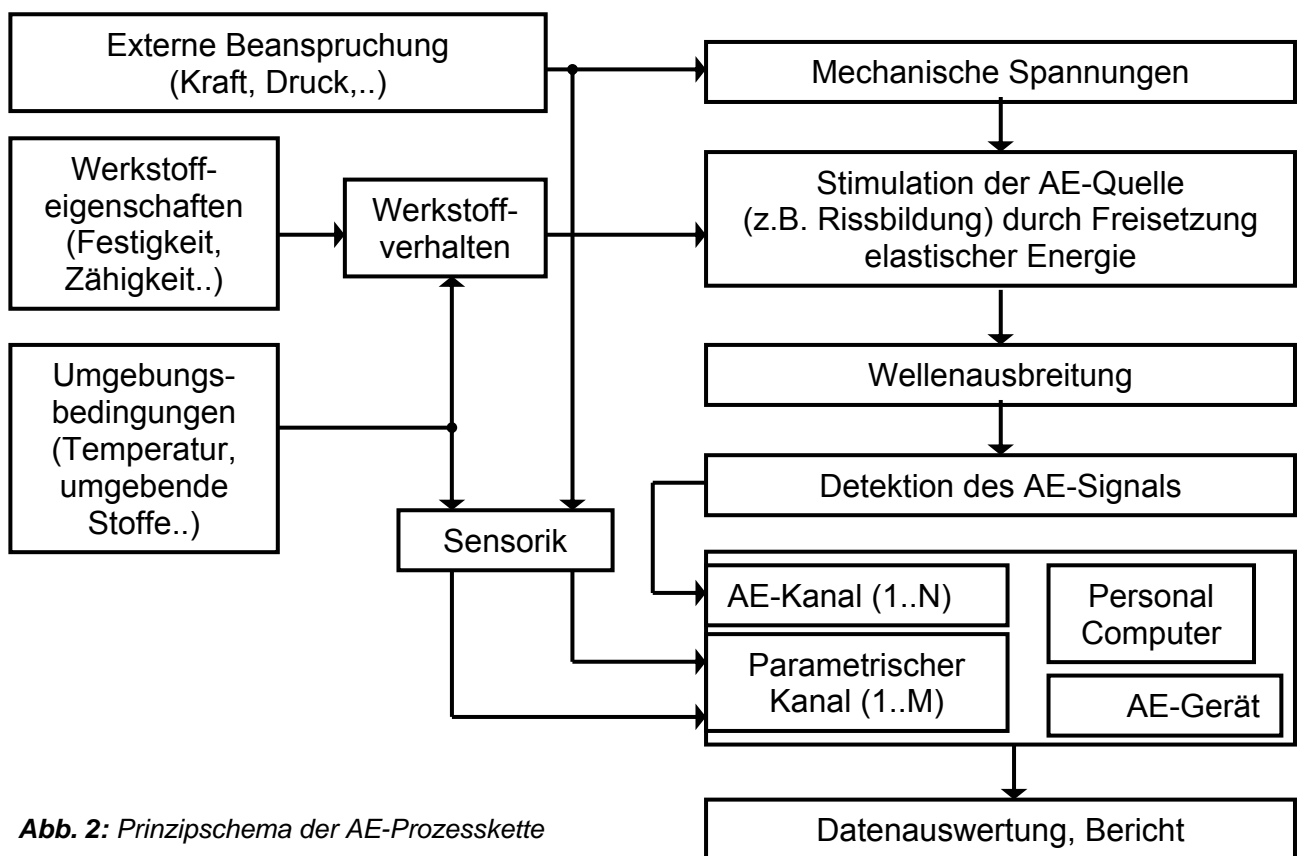


Abb. 2: Prinzipschema der AE-Prozesskette

## 7 Transiente und kontinuierliche Signale

Prinzipiell unterscheidet man transiente und kontinuierliche AE-Signale. Bei transienten AE-Signalen, auch Bursts genannt, heben sich Beginn und Ende klar von einem eventuellen Grundgeräusch ab. Bei kontinuierlichen AE-Signalen kann man zwar Schwankungen erkennen, das Signal endet aber nie. Abb. 3 zeigt für beide Signalformen ein Beispiel.

Bei der uns interessierenden Schallemissionsprüfung sind alle Nutzsignale vom Typ Burst, z.B. aus Bruch oder Risswachstum. Kontinuierliche Signale sind meist Störer, z.B. Pumpen- oder Fließgeräusche. Auch transiente Signale können Störsignale sein, z.B. kurzzeitige Reibgeräusche. Im günstigsten Fall ist das Hintergrundgeräusch nur das elektrische Rauschen des Vorverstärkers bzw. des Sensors.

Think AE - think Vallen! User-friendly, reliable, up to date

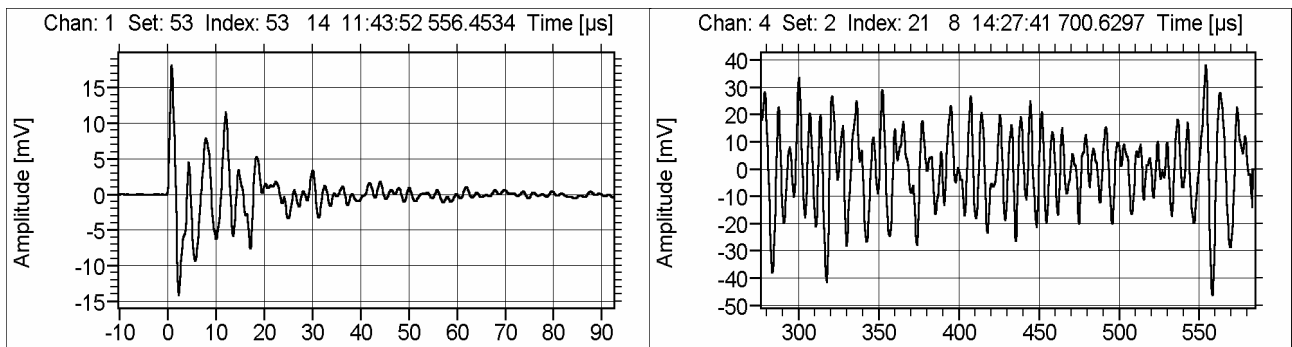


Abb. 3: Transientes (links) und kontinuierliches (rechts) AE-Signal

## 8 AE-Merkmale

Eine Schallemissionsprüfung stützt sich nur selten auf wenige Bursts, meist hat man es mit Hunderten oder Tausenden von Bursts zu tun, die man in der Praxis nur statistisch auswerten kann. Um Wellenformen statistisch auswerten zu können, muss man aussagekräftige Merkmale ermitteln. Merkmale sind dann aussagekräftig, wenn sich die statistische Verteilung der AE-Merkmale von einem „guten“ Prüfobjekt von der eines „schlechten“ Objekts unterscheiden. Eine Hauptaufgabe des AE-Kanals ist die Ermittlung (Extraktion) der AE-Merkmale und die Erzeugung eines AE-Datensatzes pro Burst, in dem alle wichtigen Merkmalwerte vereinigt sind. Die gängigsten AE-Merkmale sind (siehe auch Abb. 4):

- Ankunftszeit (absolute Zeit der ersten Schwellenüberschreitung)
- Maximalamplitude
- Anstiegszeit (Zeitintervall zwischen erster Schwellenüberschreitung und Zeitpunkt der Maximalamplitude)
- Signaldauer (Zeitintervall zwischen erster und letzter Schwellenüberschreitung)
- Überschwingungen eines Hits, auch Counts (Zahl der Überschreitungen der Schwelle in einer Polarität)
- Energie, (Integral der quadrierten (oder absoluten) Momentanwerte des Spannungsverlaufs)
- RMS (Effektivwert) des kontinuierlichen Hintergrundgeräusches (vor dem jeweiligen Hit)

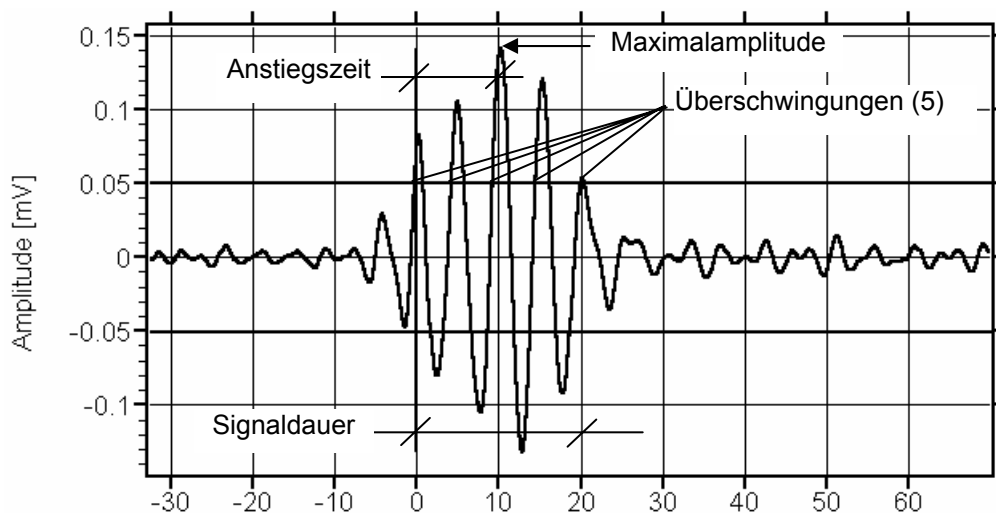


Abb. 4: Einige Merkmale transienter Signale (Bursts)

Think AE - think Vallen! User-friendly, reliable, up to date

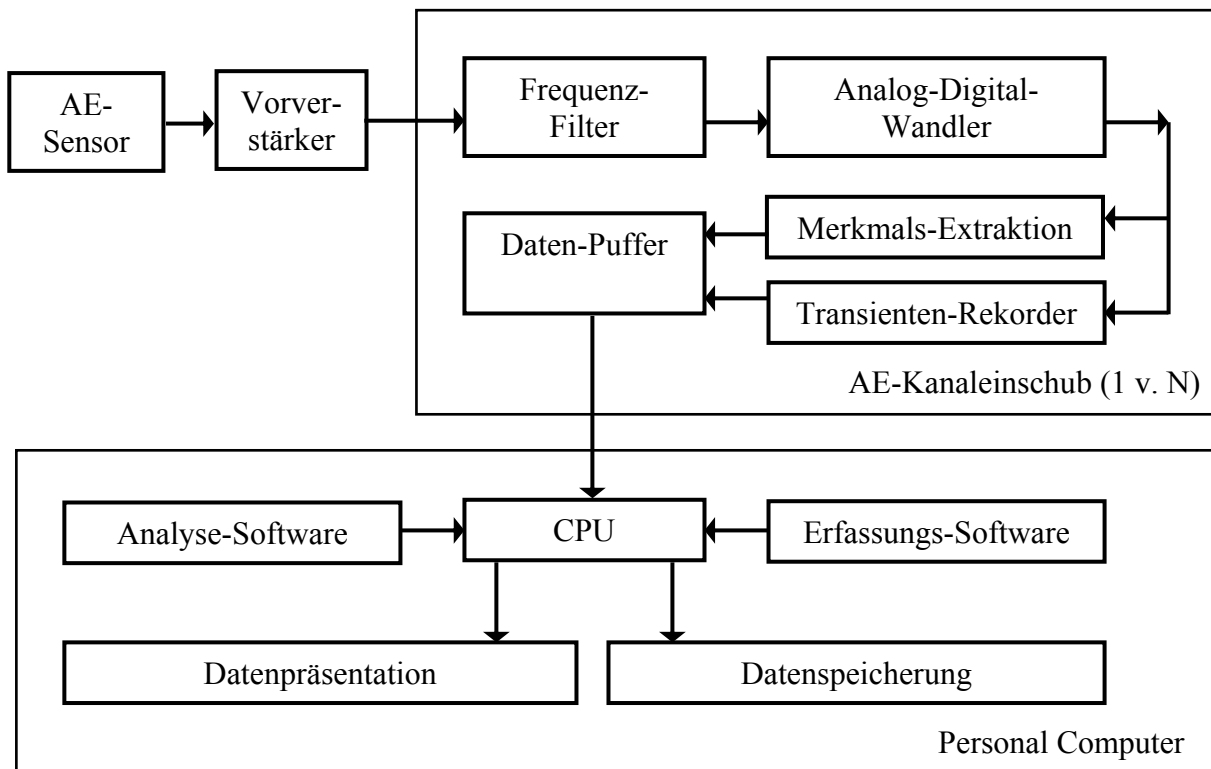
AE-Bursts werden nicht nur von den gesuchten Defekten ausgelöst, sondern können auch von Störern stammen, oder z. B. von Spitzenwerten des Hintergrundgeräuschs, die gelegentlich eine sehr niedrig eingestellte Schwelle überschreiten können. Daher ist es besonders wichtig solche Merkmale zu ermitteln, die Nutz- und Störsignale voneinander unterscheiden lassen.

Eines der wichtigsten Burst-Merkmale ist die Maximalamplitude. Riss-Signale weisen mittlere bis hohe Amplituden auf, wobei die Dauer des Signals je nach Eigenschaften des Prüfobjekts im Bereich von einigen 10  $\mu\text{s}$  liegt.

Meistens kann man Bursts mit weniger als 3 Überschwingungen und weniger als 3  $\mu\text{s}$  Dauer und weniger als 1  $\mu\text{s}$  Anstiegszeit zu den Störsignalen rechnen. Bursts mit niedrigen Amplituden aber großer Dauer sind meist Reibgeräusche. Sehr kurze Signale können auf elektrische Störspitzen deuten, insbesondere wenn sie an allen Kanälen mit gleicher Ankunftszeit ankommen.

Die logische Filterung nach solchen Burstmerkmalen ist mit heutiger Technik in flexibler Weise möglich, ist aber mit Vorsicht vorzunehmen: Man muss immer sicherstellen, dass wichtige Bursts nicht versehentlich übersehen werden.

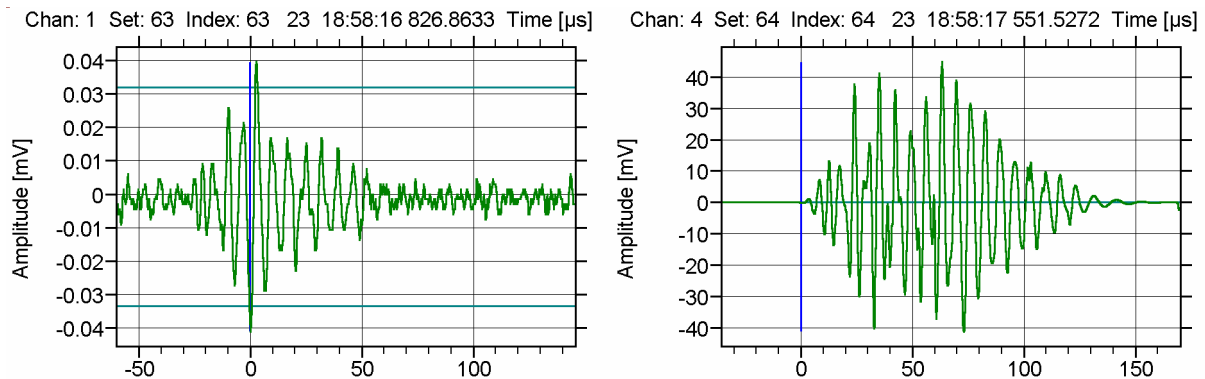
## 9 Die Schallemissionsmesskette



**Abb. 5:** Schallemissions-Messkette, vom Sensor bis zum Computer.

Für alle Arten der Schallemissionsprüfung an großen Komponenten haben sich piezoelektrische Sensoren am besten bewährt. Sie sind robust und äußerst empfindlich. Der optimale Frequenzbereich ergibt sich aus den zu erwartenden Störsignalen und den Ausbreitungsbedingungen im Material des Prüfobjekts. Zur Prüfung von metallischen Behältern eignet sich meist ein Frequenzbereich von 100 bis 300kHz, für Beton, Kunststoffe u.a. geht man oft zu niedrigeren Frequenzen, wenn sich Störquellen nicht anders vermeiden lassen, geht man zu höheren Frequenzen, wobei dann mit kürzeren Reichweiten gerechnet werden muss. Der verwendete Frequenzbereich wird vom Sensor und von Frequenzfiltern im AE-Kanal-Einschub und im Vorverstärker festgelegt.

Da sowohl Signale schwacher Quellen aus größerer Distanz, als auch Signale starker Quellen aus geringer Distanz korrekt verarbeitet werden müssen, wird an die gesamte Messkette und insbesondere an die Analog-Digital-Wandlung hinsichtlich Dynamik und Abtastfrequenz extrem hohe Anforderungen gestellt, die erst in den letzten Jahren erfüllt werden konnten. Abb.6 zeigt ein schwaches und ein starkes Signal, wie es vom AE-System (AMSY4, Vallen-Systeme) ohne Umschaltung des Messbereichs digitalisiert wurde. Das linke Signal weist eine Spitzenamplitude von ca. 40µV auf, das rechte ca. 40mV, also eine tausendfach höhere Amplitude.

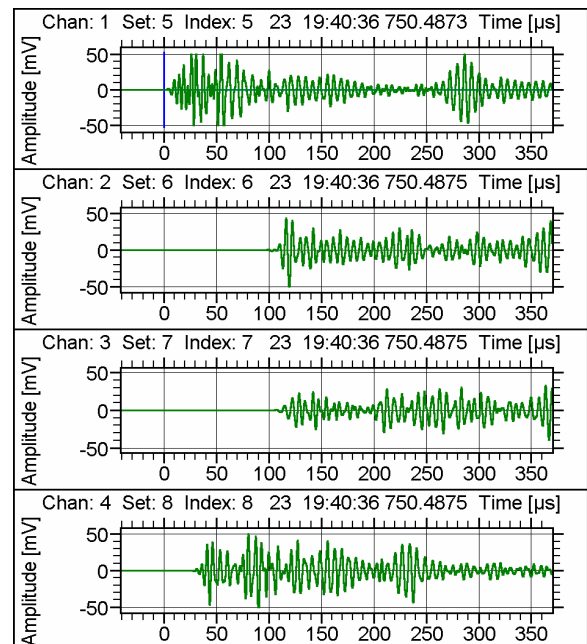


**Abb. 6:** Dynamik heutiger Analog-Digital-Wandler (16 Bit)

Solche AD-Wandler weisen eine Dynamik von 16 Bit auf, dies entspricht einem Zahlenverhältnis von 1 zu 65367 oder, in Längeneinheiten ausgedrückt, einer Auflösung von 1.5mm bei einem 100m langen Messbereich. Die Abtastrate beträgt 10 MHz, d.h. in jedem Kanal entstehen 10 Millionen Messwerte pro Sekunde, die von der anschließenden Merkmalsextraktionsstufe in Echtzeit verarbeitet werden. Die Transientenrekorderstufe (Abb. 5) dient zur Abspeicherung der vollständigen Wellenform von solchen Bursts, deren Merkmale eine entsprechende Signifikanz anzeigen. Die Bilder in Abb. 6 und 7 sind nur möglich auf Grund dieser Wellenformspeicherung.

## 10 Ortung nach Zeitdifferenzen

Ein wesentliches Element der Schallemissionsprüfung ist die Bestimmung des Quellorts für jedes Ereignis. Die Ortung beruht auf der Auswertung der Laufzeitunterschiede zu den verschiedenen Sensorpositionen am Prüfobjekt. Abb. 7 zeigt die Wellenpakete und deren unterschiedliche Ankunftszeiten gemäß der Quellen-Sensor-Anordnung nach Abb. 1. Der genaue Zeitpunkt des Quellvorgangs kann nicht gemessen werden, nur die Unterschiede der Ankunftszeiten ( $\Delta t$ ) zwischen den Sensoren. Die Abstandsdifferenz der Quelle zu zwei Sensoren errechnet sich aus  $\Delta t \cdot v$ . Alle Punkte mit konstanter Abstandsdifferenz zu 2 fixen Punkten (Sensoren) liegen auf einer Hyperbel. Abb. 8 zeigt drei Hyperbeln die aus der Messung in Abb. 7 resultieren. Jede Hyperbel repräsentiert die Orte mit der ermittelten Abstandsdifferenz eines Sensorpaares. Am Schnittpunkt der drei Hyperbeln liegt der gesuchte Quellort.



**Abb. 7:** Laufzeitunterschiede

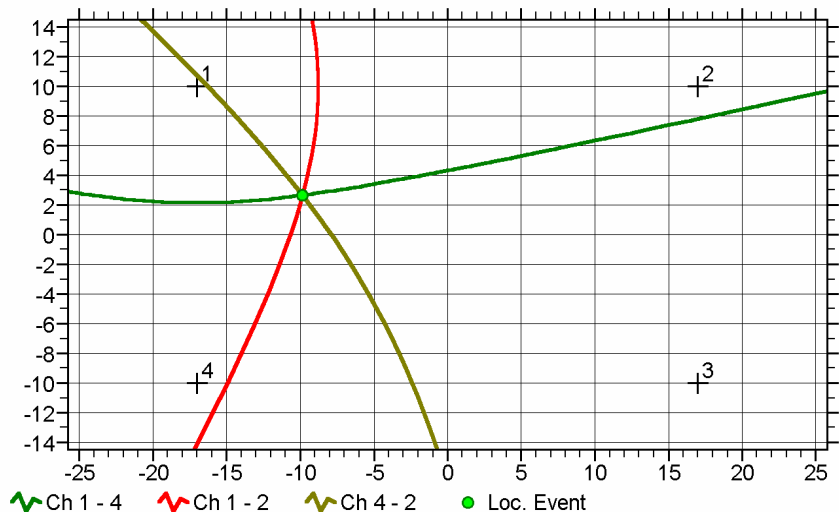
Think AE - think Vallen! User-friendly, reliable, up to date

## 11 Ortungsdarstellung

Ortungsergebnisse werden meist in einer Punktdarstellung visualisiert, die eine leichte Zuordnung des Ortungsergebnisses zum Ort am Prüfobjekt ermöglicht.

Abb. 9 zeigt ein Beispiel für Kugelortungsergebnisse. Jedes Symbol kennzeichnet ein Ortungsergebnis, wobei in die Symbolform beispielsweise ein Amplitudenbereich codiert werden kann.

Örtliche Häufungen von Ortungsergebnissen nennt man Cluster, in Abb. 9 als große Kreise dargestellt. Die Farbe der Kreise kennzeichnet die Dichte in „Ortungen je Cluster“. Zu den Stellen mit erhöhter Ortungskonzentration müssen entsprechende AE-Quellen existieren, die wiederholt AE aussenden. Manchmal handelt es sich um rasch zu identifizierende Störquellen (z.B. Scheuerstellen, Anbauten o.ä.). Falls die Quelle am Prüfobjekt nicht zu identifizieren ist, müssen reale Defekte angenommen und mit anderen ZfP-Verfahren untersucht werden.

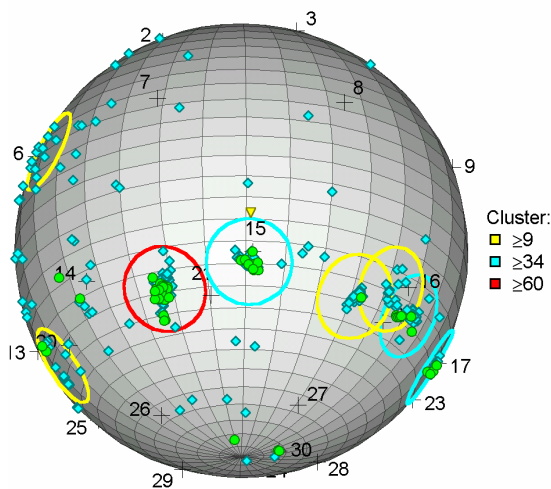


**Abb. 8:** Hyperbelschnittpunkt

## 12 Schluss

Natürlich kann im Rahmen dieses Berichts nur ein grober Überblick über dieses in den letzten Jahren stark weiterentwickelte Verfahren vermittelt werden.

Heutige AE-Systeme mit schnellen Prozessoren und anwenderfreundlicher Windows-Software sind in der Lage bis zu einigen hundert Ortungen pro Sekunde in Echtzeit zu verarbeiten und anzuzeigen. Die Steigerung der PC-Technik der vergangenen Jahre kommt der AT voll zugute: Erfassungsgeschwindigkeiten wie auch die Analysegeschwindigkeiten haben sich etwa vertausendfacht. Heutige AE-Systeme sind in Ihrer Leistungsfähigkeit nicht mehr mit denen von vor 10 Jahren zu vergleichen. Das Prüfverfahren hat von der Geräteseite her eine hohe Reife erlangt.



**Abb.9:** Sphärische Ortungsdarstellung

Die Akzeptanz des Verfahrens hat sich in Folge auch drastisch erhöht. Die DGZfP bietet seit 1999 Kurse in Schallemissionsprüfung (AT) gemäß EN473-2000 an und AT ist auch Bestandteil der neuen Z-Kurse für die Stufe-3-Anwärter. Eine Reihe von CEN Normen zu AT sind entstanden, was auf einen Konsens unter Fachleuten hinweist.

AT wird auch zukünftig weiter deutlich zunehmen und sowohl bei der Prüfung von Druckbehältern als auch in anderen Anwendungen, z.B. der Prüfung von Flachbodentanks, häufiger als bisher in Betracht gezogen werden.

Think AE - think Vallen! User-friendly, reliable, up to date