

Neue Generation von Sensoren mit integriertem AE-System

Horst KÜHNICKE ¹

¹ Kühnicke Embedded Real Time (KERT), Dresden

Kontakt E-Mail: kert@u-boehm.de

Kurzfassung 2017 haben wir auf dem 21. Kolloquium Schallemission in Fulda AE-Sensoren mit integriertem Schallemissionssystem vorgestellt. Hauptziele dieser Entwicklung sind das Miniaturisieren der Systeme, die Einbindung in bekannte Netzarchitekturen (WLAN oder Ethernet) und die Bedienung durch Browser, die auf einer breiten Palette von Computern (Desktop, Notebook, Smartphone) zur Verfügung stehen.

Das im Sensor integrierte AE-System erzeugt eine dynamische Internetseite, die ständig aktualisiert wird. Informationstechnisch stellt der Sensor einen Server dar. Die Messergebnisse stehen überall im Netz zur Verfügung und können mit einem beliebigen Webbrowser dargestellt werden. Auch die Einstellung des Messsystems erfolgt über eine Webseite. Es handelt sich um eine sogenannte Webanwendung. Dieses Konzept ermöglicht den Aufbau besonders preisgünstiger Schallemissionssysteme. Die Netzstruktur sorgt für hohe Flexibilität und ermöglicht komplexe Anwendungen, für die Schlagworte wie „Internet der Dinge“ oder „Industrie 4.0“ stehen.

Der diesjährige Beitrag stellt die zweite Generation dieser Sensoren vor. Wichtige Weiterentwicklungen sind das Halbieren der Stromaufnahme, die Verkleinerung des Sensorvolumens um bis zu einem Faktor 5. Eine Innenantenne bzw. neue Steckverbinder erhöhen die Robustheit der Sensoren. Hardware und Bewertungsalgorithmen wurden optimiert. Die WiFi-Variante ermöglicht mit einem einzelligen Lithium-Akkumulator (3000 mAh) Messzeiten zwischen 8 und 24 Stunden. Erstmals existieren auch Varianten, die eine Ortung erlauben.

Zur Datenreduktion wird die logarithmische Einhüllende gebildet. Das bedeutet, dass Vorzeichen und Frequenzinhalt des ursprünglichen Signals verloren gehen. Alle anderen Schallemissionsparameter können in einer Qualität bereitgestellt werden, wie dies bei modernen Schallemissionssystemen mit zentraler Signalverarbeitung üblich ist.

Bei der Variante AE-WiFi erfolgt die Datenübertragung über ein drahtloses Netzwerk nach IEEE 802.11b/g/n. Im Gegensatz dazu verfügt die Variante PoE über eine Kabelverbindung nach IEEE 802.3af, die sowohl dem Datentransfer als auch der Stromversorgung dient.

Für die Varianten ohne Ortung werden Starter Kits angeboten, die den Sensor und, je nach Variante, die benötigten Akkumulatoren und ein Ladegerät bzw. die Ethernetkabel und einen PoE-Injector enthalten.

1. Einführung

2017 haben wir die erste Generation der Sensoren mit integriertem AE-System vorgestellt [1,2]. Inzwischen ist eine große Zahl von Weiterentwicklungen eingeflossen. Die Varianten mit einer submikrosekundengenauen Synchronisation erlauben jetzt auch eine Quellortung.

Für die Varianten ohne Ortung erfolgt nach wie vor die gesamte Signalverarbeitung, Parameterbildung und Aufbereitung der Ergebnisse im Sensor. Der Sensor erzeugt Webseiten, die er als Server im Netz zur Verfügung stellt. Mit Ortung senden die Sensoren die Messwerte an ein Mid Device, welches in diesem Fall die entsprechenden Webseiten generiert.

Dieses Prinzip der dynamischen Webanwendung ist für langsam ablaufende Prozesse, wie Temperaturmessungen, DSL-Router-Bedienung u.ä. bekannt. Die fortschreitende Umsetzung des HTML5-Standards mit seinen leistungsfähigen APIs erlaubt es, Webanwendungen auch für schnelle Echtzeitprobleme wie die Schallemissionsanalyse zu entwickeln.

Hauptvorteile sind:

- Das Schallemissionssystem kann durch jeden Rechner im Netz bedient werden.
- Es ist keine Installation spezieller Schallemissionssoftware auf dem Bedienrechner notwendig.
- Webanwendungen sind vollkommen unabhängig vom Betriebssystem (Windows, Linux, Android oder macOS).
- Der vom Nutzer bevorzugte Browsertyp (Chrome, Firefox, Opera, InternetExplorer oder Edge) kann eingesetzt werden.
- Die nach dem Client-Server-Modell aufgebauten Schallemissionssysteme sind preiswert.
- Die Einbindung des Sensors im Netz erlaubt vielseitige Strukturen.

2. Messprinzip

Wie schon in der Einleitung erwähnt, stellt im Client-Server Modell der Sensor den Server und der Webbrowser den Client dar. Abbildung 1 zeigt dies für eine einfache Netzkonfiguration, die nur den Sensor und ein Notebook enthält. Die Netzstruktur kann auch aus mehreren Sensoren oder Webbrowsern bestehen, die sich nicht alle im gleichen lokalen Netz befinden müssen.

Bezüglich der Anbindung ans Netz gibt es zwei Varianten PoE und WiFi. PoE steht für Power over Ethernet. Über ein Standard-Ethernetkabel werden sowohl die Stromversorgung als auch der Datentransfer realisiert. Weitere Kabel sind nicht notwendig. Der zugehörige Standard ist IEE 802.3af [5]. Es können Patchkabel bis zu 60 m Länge eingesetzt werden. Bei normgerechter fester Installation sind Kabellängen bis zu 100 m möglich. Sensoren mit WiFi-Anschluss kommen ohne jedes Kabel aus. Die Stromversorgung erfolgt durch einen Lithium-Ionen-Akkumulator der Standardgröße 25500 und der Datenaustausch drahtlos über Funk nach IEEE 802.11b/g/n [6]. Die Akkumulatoren werden ausgetauscht und außerhalb des Sensors in einer Ladestation wieder aufgeladen. Eine Batterieladung reicht mindestens acht Stunden und bei kleinen Hitraten bis zu 24 Stunden.

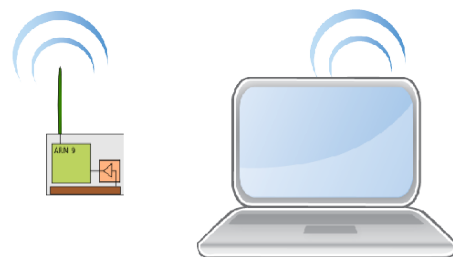


Abbildung 1: Client-Server-Modell

3. Hardware

Die Sensoren enthalten das piezoelektrische Element, die Analogeinheit, die digitale Signalverarbeitung, die Webseiten-Generierung und die Sende-Empfangeinheit bzw. den Ethernettreiber. Abbildung 2 und 3 zeigen ein vereinfachtes Schema der Elektronik für die Typen PoE und WiFi. Der Energieverbrauch der Funktionsgruppen ist angegeben. Der mit ANALOG gekennzeichnete Funktionsblock übernimmt die erste Datenreduktion durch Bildung der logarithmischen Einhüllenden. Der Funktionsblock PARAM bildet die bekannten AE-Parameter, wie Amplitude, Dauer, Anstiegszeit, Energie usw.. Als Parameter können auch die digitalisierten Werte der logarithmischen Einhüllenden verwendet werden. Der PARAM-Block ist nur aktiv, wenn der Schwellwert überschritten wird oder kontinuierliche Emissionen gemessen werden. Nicht aktive Blöcke tragen nicht nennenswert zum Gesamtenergieverbrauch bei.

Den höchsten Energieverbrauch mit 1,2 W hat der WiFi-Sendeblock (TX). Dieser Block ist jedoch nur aktiv, wenn tatsächlich Daten gesendet werden. Geringe Hitraten bedeuten auch einen geringen Energiebedarf. Da die Sendeleistung bei gutem Empfang automatisch verringert wird, haben auch die notwendige Reichweite und die Aktivitäten anderer Nutzer des 2,4-MHz-Bandes großen Einfluss auf den Energieverbrauch. Die PoE-Variante benötigt von vornherein wesentlich weniger Energie.

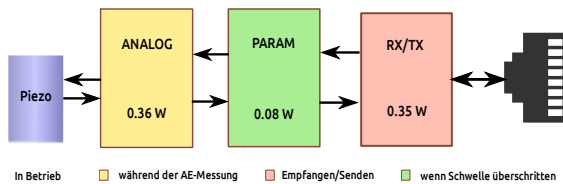


Abbildung 2: Schema PoE-Typ

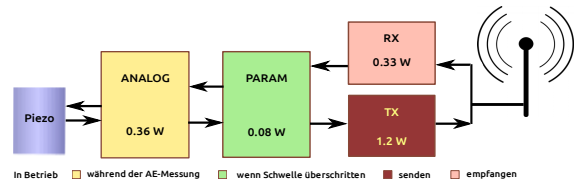


Abbildung 3: Schema WiFi-Typ

Die Leistungsfähigkeit der vorgestellten Ortungssysteme entspricht bis auf die zwei folgenden Ausnahmen der von modernen Systemen mit zentraler Signalverwaltung:

1. Das Vorzeichen des Ersteinsatzes (Momententensoranalyse) steht nicht zur Verfügung.
2. Frequenzinformationen (Modalanalyse) gehen verloren.

Ursache ist das eingesetzte Datenreduktionsverfahren logarithmische Einhüllende.

Die anschließende Tabelle enthält die wichtigsten technischen Daten der beiden Sensortypen.

	WiFi	PoE
Gesamt-Hitrate	1,5 10 ³ bis 2 10 ⁴ Hits/s	3 10 ⁵ Hits/s
Dynamik	118 dB	118 dB
Mittenfrequenz	45, 140, 320 kHz	45, 140, 320 kHz
Autarke Energievers. 8-24 h	ja	mit Erweiterung möglich
Autarker Dauereinsatz	nein	mit Erweiterung möglich
Störsicherheit	meist ausreichend	ausgezeichnet
Energieverbrauch	< 1,64 W	< 0,88 W

4. Software

Die Firmware der Sensoren ist proprietär und kann nicht eingesehen werden. Die Scripte für den Webbrowser sind öffentlich und können vom Nutzer beliebig verändert werden. Eine sehr einfache Änderungen ist zum Beispiel das Einfügen eines Firmenlogos ins Messprotokoll. Etwas mehr Kenntnisse erfordert z.B. das Verändern der Achsen oder das Platzieren eines Plots auf dem Bildschirm. Auch die Bildung neuartiger Parameter oder Alarmkriterien kann programmiert werden. Für diese Aktionen sind gute Kenntnisse in HTML5 und den zugehörigen APIs notwendig.



Für die gebräuchlichen Anwendungen wird keine Programmierung benötigt, da die dynamischen Webseitenbeispiele mit ihren Einstellmöglichkeiten einen breiten Bereich von Anwendungen abdecken. Abbildung 4 zeigt ein solches Webseitenbeispiel.



Abbildung 4: Webseitenbeispiel mit vier Plots

5. Änderung im Vergleich zur 1. Generation

Sensorabmessungen:

Die Abmessungen der Sensoren konnten erheblich verringert werden. Abbildung 5 zeigt maßstäblich PoE-Sensoren der 1. und 2. Generation. Im gezeigten Beispiel hat sich das Volumen um den Faktor 5 verkleinert.

Innenantenne:

In rauen Messeinsätzen bestand die Gefahr einer Beschädigung der Außenantenne des WiFi-Typs. Die neuen Sensoren sind mit Innenantennen versehen. Die Reichweite der Sensoren verkleinert sich dadurch nur unerheblich.

Ethernetstecker:

Der bisher eingesetzte Standardstecker RJ45 ist mechanisch nicht sehr robust und erlaubt nur wenige Steckzyklen. Er wurde durch industrielle Steckertypen ersetzt. IX Industrial nach IEC 61076-3-124 ist eine robuste miniaturisierte Alternative zu RJ45. Die Schutzklasse ist IP 20. Noch robuster sind die Varianten mit den größeren XLR-Steckern. Im gesteckten Zustand wird die Schutzklasse IP 54 erreicht.

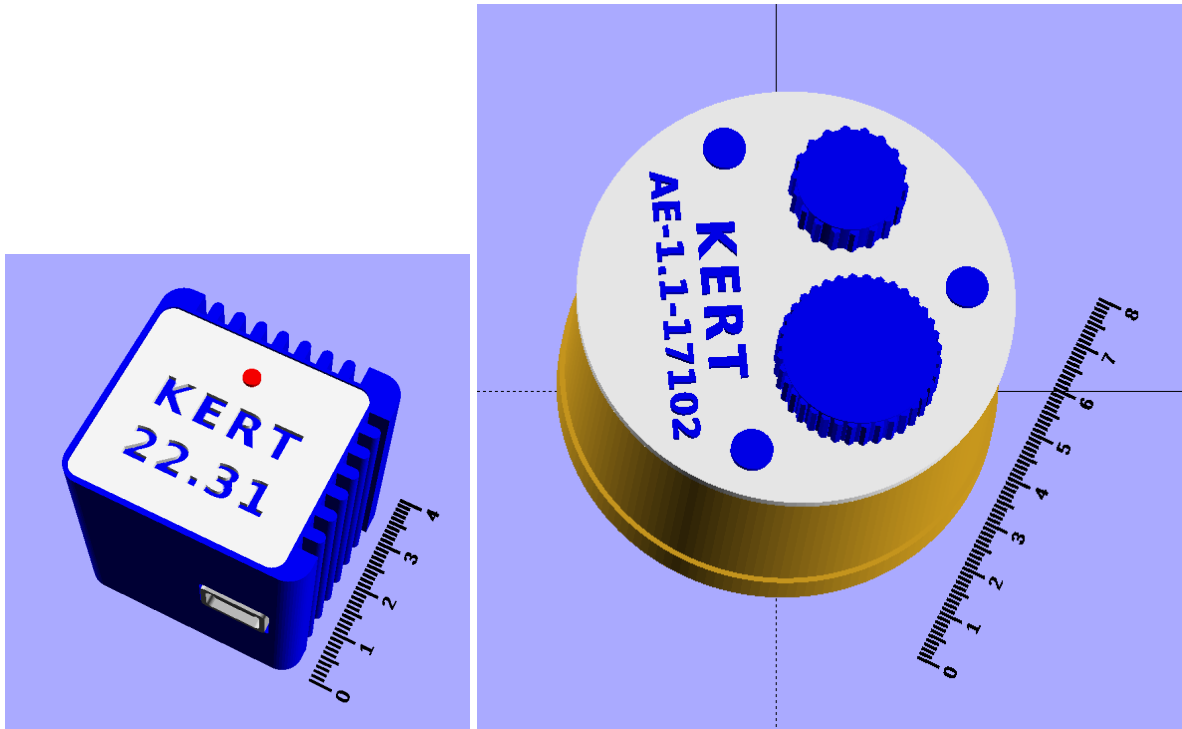


Abbildung 5 Größenvergleich PoE-Sensoren der 1. und 2. Generation

Datenreduktion:

Die große Zahl der Einstellungen zur Datenreduktion der 1. Generation ist auf eine einzige, die logarithmische Einhüllende reduziert worden. Diese neue Variante deckt nahezu alle alten Möglichkeiten ab. Vorteile sind die wesentlich einfachere Bedienung und das Erstellen von eigenen anwendungsspezifische Bewertungs- und Alarmkriterien.

Energieversorgung:

Der Energieverbrauch aller Sensortypen wurde mindestens halbiert. Die WiFi-Varianten arbeiten 8 bis 24 Stunden autark. Die PoE-Netze können mit Solarmodulen im Dauerbetrieb genutzt werden.

Ortung:

Ein spezielles Zeitsynchronisationsverfahren [3,4,7] wurde implementiert, welches die Messung der Zeitdifferenzen zwischen benachbarten Sensoren submikrosekundengenau ermöglicht.

Mittelfrequenzen:

Die Zahl der Mittelfrequenzen wurde auf drei erhöht (70, 140 und 290 kHz).

6. Typengalerie

Abbildung 6 gibt einen Überblick zu den Sensorvarianten ohne Ortung. Von links nach rechts werden ein PoE-Sensor mit IX-Stecker, ein PoE-Sensor mit XLR-Stecker und ein WiFi-Sensor gezeigt. Das Gleiche gilt für Abbildung 7 mit den Ortungssensoren [4]. Die PoE-Varianten mit Ortung sind etwas größer als die ohne Ortung, weil sie jeweils zwei Steckverbinder für die Bildung von Messketten aufweisen.



Abbildung 6 Sensoren ohne Ortung, links PoE mit IX-Stecker, Mitte PoE mit XLR-Stecker, rechts WiFi



Abbildung 7 Sensoren mit Ortung, links PoE mit IX-Stecker, Mitte PoE mit XLR-Stecker, rechts WiFi

7. Zusammenfassung

Die Sensoren mit integriertem Schallemissionssystem bieten als Einzelsensoren die Möglichkeit, in ein beliebiges betriebliches Netz integriert zu werden. Jedes Gerät, das Zugriff auf dieses Netz hat und einen Webbrowser besitzt, kann die Sensoren steuern und Messergebnisse anzeigen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, mehrere Sensoren zu einem Sensornetzwerk zu vereinen. Diese Sensornetzwerke sind proprietär. Sie kommunizieren über ein sogenanntes Mid Device mit standardisierten Netzen. Die neue 2. Generation von Sensoren kann Ankunftszeiten für die Ortung submikrosekundengenau messen.

Die Datenübertragung erfolgt entweder drahtlos nach IEEE 802.11b/g/n oder über eine Kabelverbindung nach IEEE 802.3af. Im letzteren Fall dient das Kabel sowohl dem Datentransfer als auch der Stromversorgung.

Die dezentrale Signalverarbeitung direkt im Sensor kann auch zur Reduzierung der notwendigen Kabellängen genutzt werden.

8. Referenzen

- [1] H. Kühnicke (2017) "*AE-Sensor mit integriertem Schallemissionssystem*", Vortrag 19, 21. Kolloquium Schallemission Fulda, Vortrag 19
- [2] H. Kühnicke (2018) "*ZfP 4.0 – Komplettes Schallemissionssystem im Sensorgehäuse*", DGZfP-Jahrestagung Leipzig, Poster 31
- [3] A. J. Brunner, H. Kühnicke, M Oemus, L Schubert, H. Trattnig (2019) "*Drahtlose Übertragung von Schallemissionssignalen bei Strukturüberwachung: Anforderungen*", 22. Kolloquium Schallemission und 3. Anwenderseminar Zustandsüberwachung mit geführten Wellen Karlsruhe, Vortrag 14
- [4] H. Kühnicke (2019) "*Ortungssysteme mit wesentlich weniger oder ganz ohne Sensorkabel*", 22. Kolloquium Schallemission und 3. Anwenderseminar Zustandsüberwachung mit geführten Wellen Karlsruhe, Vortrag 13
- [5] https://standards.ieee.org/standard/802_3-2018.html
- [6] https://standards.ieee.org/standard/802_11n-2009.html
- [7] M. Roche „*Time Synchronization in Wireless Networks*“, www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/time_sync/index.html