

# AE-Sensor mit integriertem Schallemissionssystem

Horst KÜHNICKE

Kühnicke Embedded Real Time (KERT), Dresden

[www.kert.u-boehm.de](http://www.kert.u-boehm.de)

**Kurzfassung** Die Entwicklung der Elektronik erlaubt es, ein vollständiges Schallemissionssystem in den Sensor zu integrieren. Es werden zwei Varianten AE-PoE und AE-WiFi vorgestellt. Bei beiden Varianten befindet sich im Sensorgehäuse ein einfaches Schallemissionssystem, das die Signale aufbereitet und die gewünschten AE-Parameter bildet. Das System ist sowohl für kontinuierliche als auch für Burst-Emission geeignet.

Es handelt sich um eine sogenannte Web-Anwendung, für die Schlagworte wie „Internet der Dinge“ und „Industrie 4.0“ stehen. Der Sensor arbeitet als Web-Server. Die Messergebnisse stehen überall im Netz zur Verfügung und können mit einem beliebigen Browser auf Desktops, Tabletcomputern oder auch Smartphones dargestellt werden. Auch bei kleinen Datenübertragungsraten von 10 Mbit/s wird eine zeitliche Auflösung der Diagramme von 100 ms erreicht. Die Einstellung der Messregime, der Zugriffsrechte usw. erfolgt ebenfalls über Web-Seiten.

Bei der Variante AE-WiFi sorgen zwei austauschbare Lithium-Akkumulatoren für die Stromversorgung. Diese erlauben je nach Messregime Betriebszeiten zwischen 6 Stunden und mehreren Tagen. Die Datenübertragung erfolgt über ein drahtloses Netzwerk nach IEEE 802.11b/g/n. Diese Variante benötigt keinerlei Kabelverbindungen.

Im Gegensatz dazu verfügt die Variante AE-PoE über eine einzige Kabelverbindung nach IEEE 802.3af, die sowohl dem Datentransfer als auch der Stromversorgung dient.

Das Konzept ermöglicht den Aufbau besonders preisgünstiger Schallemissionssysteme. Die Web-Struktur sorgt für hohe Flexibilität.

Es werden zwei Starter-Kits angeboten, die den Sensor und, je nach Variante, die benötigten Akkumulatoren und ein Ladegerät bzw. die Ethernetkabel und einen PoE-Injector enthalten. Damit lassen sich schnell einfache lokale AE-Netze aufbauen. Unter Nutzung der Softwareoption „Automatic Parameter Setting“, die eine Einstellung des Systems aufgrund des gemessenen Rauschens realisiert, können bereits nach wenigen Minuten erste erfolgreiche Schallemissionsmessungen durchgeführt werden. Nachdem Erfahrung mit den Starter-Kits gesammelt wurden, kann der Anwender die Sensoren mit integriertem Schallemissionssystem in ein separates AE-Netz, in ein Intranet oder auch ins Internet einbinden.

## 1. Einführung

Die Integration des analogen Vorverstärkers bzw. eine nachfolgende Digitalisierung in den Sensor ist Stand der Technik. Die in diesem Artikel beschriebene Lösung verlagert das gesamte Schallemissionssystem mit Ausnahme der Bedienelemente in das Sensorgehäuse. Das bedeutet, die gesamte Signalverarbeitung, Parameterbildung und Aufbereitung der Ergebnisse erfolgen im Sensor.

Das integrierte Messsystem wird als sogenannte Web-Anwendung bedient und beruht auf dem Client-Server-Modell. Das Schallemissionssystem im Sensor agiert als Server und erzeugt dynamische Webseiten, die von einem beliebigen Clienten im Netz mittels eines Standardbrowsers dargestellt werden.

Dynamische Web-Anwendungen sind für langsam ablaufende Prozesse, wie Temperaturmessungen, DSL-Router-Bedienung u.ä. bekannt. Die fortschreitende Umsetzung des HTML5-Standards mit seinen leistungsfähigen API's durch die Browserentwickler 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 notwendig.
- Web-Anwendungen 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 sehr preiswert.
- Die Einbindung des Sensors im Netz erlaubt sehr vielseitige Strukturen.

## 2. Sensoren

Die Sensoren enthalten das piezoelektrische Element, den analogen Vorverstärker, die Signalverarbeitung und die Ergebnisaufbereitung. Um eine optimale akustische Klemmung des Piezoelements zu erreichen, bestehen Boden und Mantel des Sensors aus Messing und der Deckel wird aus dem Kunststoff ABS gefertigt.

Bezüglich der Anbindung ans Netz gibt es zwei Varianten PoE und HiFi. 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. Es können Patchkabel bis zu 50 m Länge eingesetzt werden. Bei normgerechter fester Installation sind Kabellängen bis 100 m möglich. Sensoren mit HiFi-Anschluss kommen ohne jedes Kabel aus. Die Stromversorgung erfolgt durch zwei auswechselbare Lithium-Ionen-Akkumulatoren der Standardgröße 25500 und der Datenaustausch drahtlos über Funk nach IEEE 802.11b/g/n. Die Akkumulatoren werden ausgetauscht und außerhalb des Sensors in einer Ladestation wieder aufgeladen. Eine Batterieladung reicht mindestens acht Stunden und bei günstigsten Messregimen mehrere Wochen.

Für die Wahl des Typs HiFi oder PoE ist in erster Linie die Zeitdauer des Verbleibs des Sensors am Messort entscheidend. Bei häufigem Wechsel des Messorts überwiegt der Vorteil des kabellosen Betriebs der HiFi-Typen. Verbleiben die Sensoren für längere Zeit am gleichen Messobjekt, sollten die PoE-Typen eingesetzt werden. Da der Batteriewechsel entfällt und ein Sender zur Ankoppelkontrolle eingebaut ist, muss sich kein Personal am Messort aufhalten.

Die Sensorhöhe der PoE-Typen beträgt 46 mm. Das Volumen der Lithium-Ionen-Akkumulatoren vergrößert die Höhe der HiFi-Typen auf 80 mm. Der Sensordurchmesser liegt für alle Typen zwischen 80 und 90 mm.

Abbildung 1 zeigt vier verschiedene Sensoren mit integriertem Schallemissionssystem. In der oberen Reihe Sensoren vom PoE-Typ, in der unteren vom HiFi-Typ. Links jeweils für den Einsatz im Freien und rechts für geschlossene Räume.

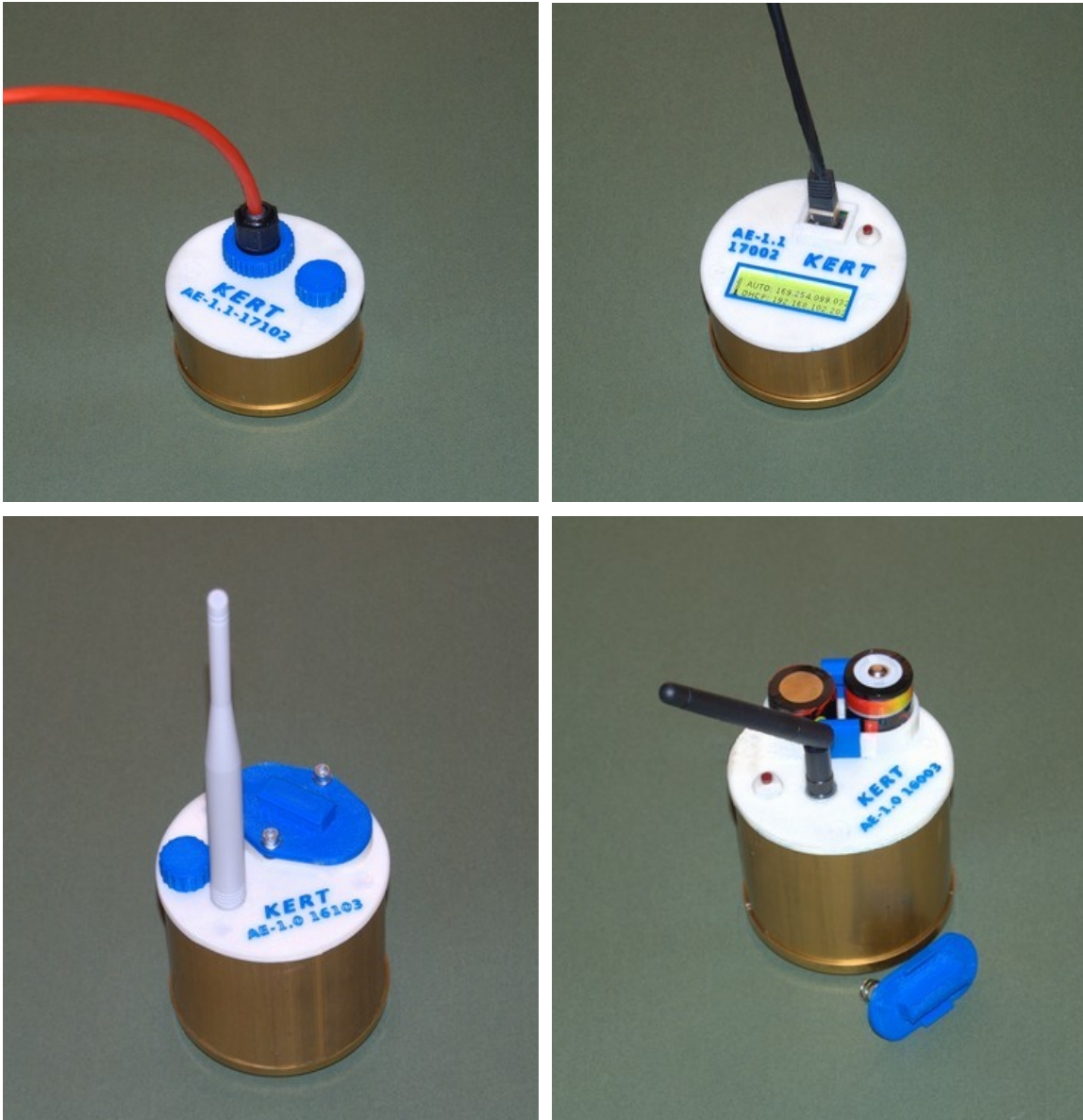


Abbildung 1 Sensoren vom Type AE-1.1-PoE und AE-1.0-HiFi

Die Innenraumsensoren sind mit Schnappverschlüssen versehen, die einen schnellen Batterie- bzw. Kabelwechsel erlauben. Im Außenbereich werden Schraubverschlüsse mit Nullringen gegen Staub und allseitiges Spritzwasser eingesetzt.

### 3. Messmethoden

Es existieren sechs grundlegende Messmethoden mit den Bezeichnungen A1, A2, B1, B2, C1 und C2. Dabei stehen die Ziffern 1 oder 2 für den Ort des Messdatenspeichers:

- *Methode x1:* Der Messdatenspeicher befindet sich während der Messung im Sensor.
- *Methode x2:* Der Messdatenspeicher wird vom Browser der Webanwendung bereitgestellt.

Methode 2 verhält sich aus Sicht des AE-Anwenders wie ein herkömmliches Schallemissionssystem. Die Ergebnisdaten werden in Echtzeit angezeigt. Der Anwender muss während der gesamten Messzeit eingeloggt bleiben und darf das Browserfenster nicht schließen.

Bei Messmethode 1 wird das eingestellte Messprogramm unabhängig vom Clienten automatisch im Hintergrund abgearbeitet. Der AE-Anwender logt sich nur von Zeit zu Zeit ein, um den momentanen Stand der Messung abzufragen. Der zur Verfügung stehende Speicherplatz ist bei Methode 1 wesentlich geringer als bei Methode 2. In vielen Fällen ist deshalb eine höherer Integration über die Messdaten erforderlich.

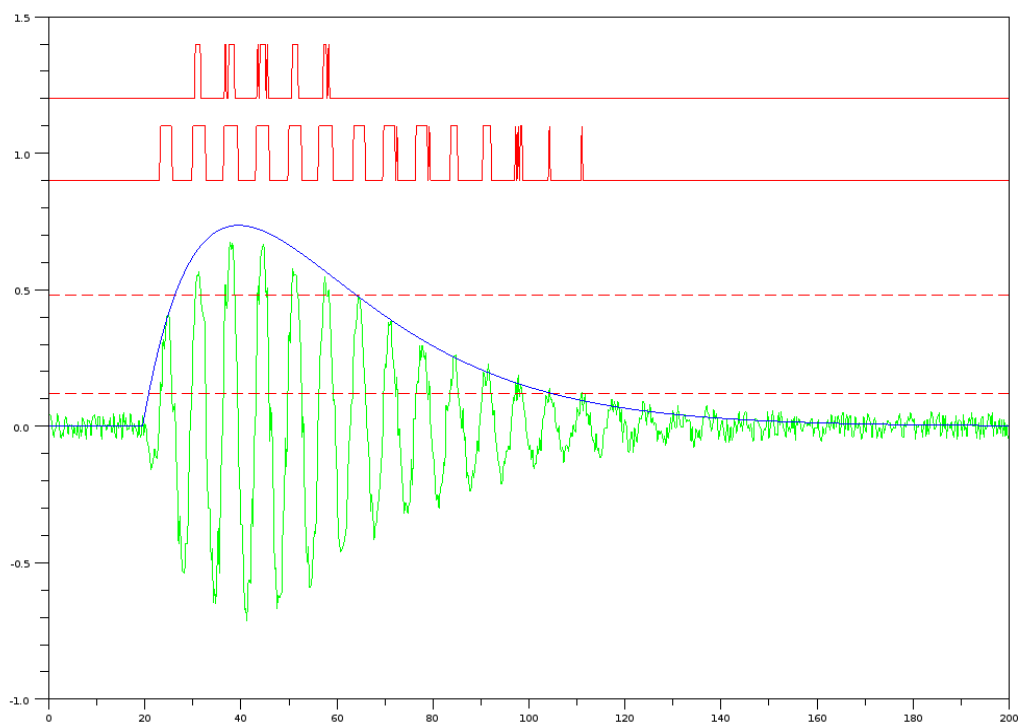


Abbildung 2 Prinzip von Messmethode B

Die Buchstaben A, B und C beschreiben die Methoden der Digitalisierung der Messdaten. Methode C steht für den heute in allen kommerziellen Desktopsystemen angewandten Algorithmus. Die analogen Daten werden mit einem ADC digitalisiert und aus den digitalen Daten werden die AE-Parameter, wie Anstiegszeit, Amplitude, Signaldauer usw. berechnet. Das ist allerdings die Methode mit dem höchsten Stromverbrauch. Um die Batterielaufzeit zu verlängern und den Sensor auch bei höheren Außentemperaturen einsetzen zu können, wurden die Methoden A und B implementiert. Dabei arbeitet Methode A wie ein System aus den Anfangszeiten der Schallemissionsanalyse mit lediglich einer Schwelle. Gemessen werden die Zahl der Überschwinger, der Hits und der zusammengesetzten Hits. Methode B liefert sehr gute Schätzungen der gleichen AE-Parameter wie Methode C ohne wesentlich höheren Energiebedarf als Methode A. Zur Parameterschätzung werden vier Schwellen eingesetzt. Die prinzipielle Funktionsweise verdeutlicht Abbildung 2.

Gemessen werden die Überschwinger (rot) für zwei Schwellwerte (rot gestrichelt). Daraus lassen sich drei Zeiten bestimmen, die Gesamtdauer, die Anstiegszeit und die Abklingzeit. Für die Einhüllende (blau) wird folgende Funktion angenommen:

$$f(t) = a \cdot t \cdot \exp(-bt)$$

Mit den drei gemessenen Zeiten sind die freien Parameter a und b bereits überbestimmt und die obige Formel ist eine sehr gute Abschätzung für die tatsächliche Einhüllende. Aus der Einhüllenden lassen sich alle gebräuchlichen AE-Parameter bestimmen. Nutzt man nicht nur zwei sondern drei oder vier Schwellen, kann man auch komplexerer Einhüllende an kompliziertere Signalformen, wie sie zum Beispiel in dünnen Platten entstehen, anpassen und die AE-Parameter bestimmen.

#### 4. Browser

Für die modernen HTML5-API's sind folgende Browserversionen erforderlich:

Chrome 54+	Firefox 50+
Chrome for Android 54+	Android Browser 53+
IE 11	Edge 14+
Safari 10+	Opera 41+

Diese Versionen sind alle erst im 2. Halbjahr 2016 erschienen. Die Sensoren mit integriertem Schallemissionssystem nutzen die neusten Browsertechniken.

Die Sensoren werden werksseitig mit den aktuellen Browserversionen von Chrome, Firefox und Edge unter den Betriebssystemen Windows 10, Ubuntu 16.04 LTS und Android 6.0 getestet.

#### 5. Software

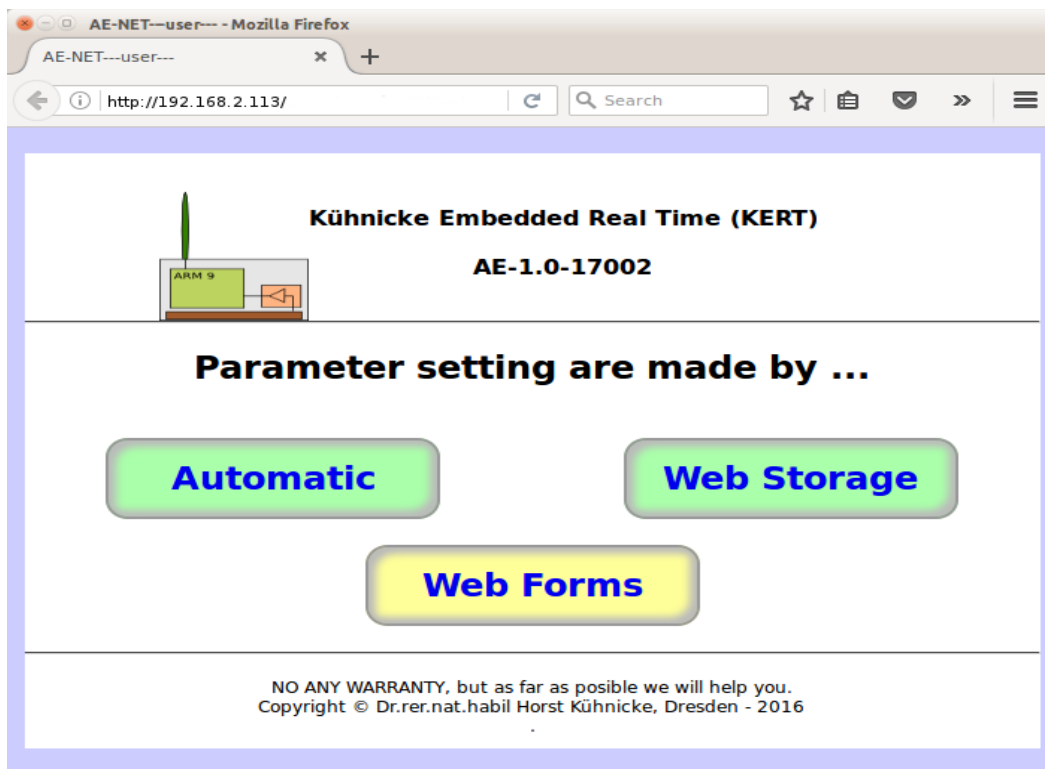


Abbildung 3 Startbildschirm nach dem Einloggen als AE-user

Auf dem Computer des AE-Anwenders müssen keine Programme installiert werden. Der Browser lädt beim ersten Einloggen die notwendige Darstellungssoftware automatisch in seinen Cache. Die Darstellungssoftware ist so gestaltet, dass sie sich auch auf kleinen Displays, zum Beispiel Smartphones, gut bedienen lässt (Abbildung 3 und 4).

Für Einsteiger und neue unbekannte Messsituationen gibt es die Option „Automatic Parameter Setting“, die nach dem Einloggen auf dem Startbildschirm (Abbildung 3) angeboten wird. Nach Auswahl dieser Option wird das akustische Rauschen gemessen, die Transferrate im Netz ermittelt und bei den Sensoren AE-1.1 die Reaktion auf das Testsignal aufgezeichnet. Aus diesen Messungen werden sichere Einstellparameter bestimmt, mit denen man sofort erfolgreiche Messungen starten kann. Abbildung 4 zeigt einen Ergebnisplot, wie er unmittelbar nach der automatischen Parametereinstellung angezeigt wird. Es ist eine gute Praxis, von diesen automatischen Parametern ausgehend, sich schrittweise an die geeignetsten Einstellungen heranzutasten.



Abbildung 4 Messbeispiel mit den automatisch eingestellten Parametern

## 6. Starter Kits

Mit Hilfe der Starter Kits ist es möglich, erste Messungen mit einem Laptop durchzuführen. Sie sind auch bei der Fehlersuche in komplizierteren Netzsituationen eine Hilfe.

Neben der notwendigen Hardware enthalten sie eine ausführliche Beschreibung zur Konfiguration des Laptops unter Windows 10 und Ubuntu 16.04 LTS. Der HiFi-Kit besteht aus einem Sensor AE-1.0-160xx, einem Lithium-Ladegerät und vier geeigneten Akkumulatoren. Dem PoE-Kit sind ein Injektor und zwei Ethernetkabel beigelegt.



## 7. Beispiele für Netzkonfigurationen

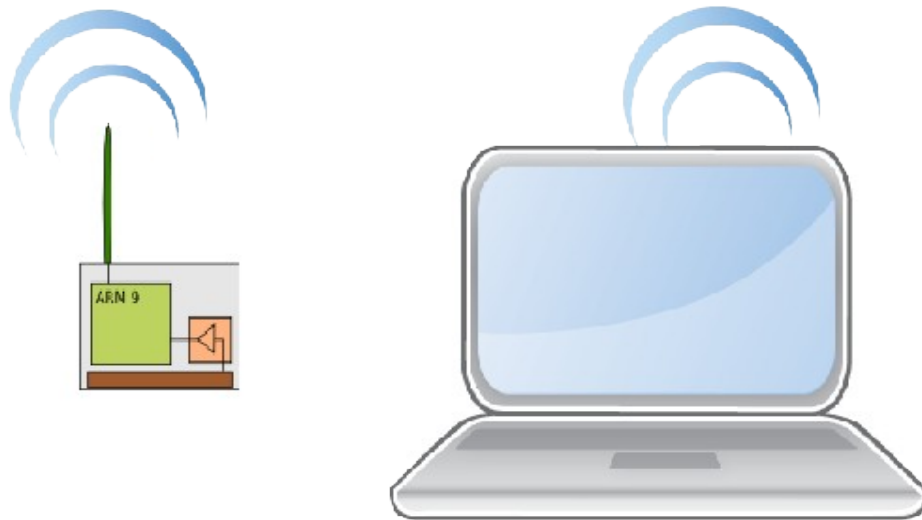


Abbildung 5 HiFi-Sensor in direkter Point-to-Point-Verbindung mit einem Laptop

Der Sensor mit integriertem Schallemissionssystem muss in ein Datennetz eingebunden werden. Abbildung 5 zeigt die einfachste Konstellation. Alle modernen Laptops lassen sich als HiFi-Access-Point konfigurieren, so dass ohne weitere Technik eine Verbindung zum AE-Sensor hergestellt werden kann.

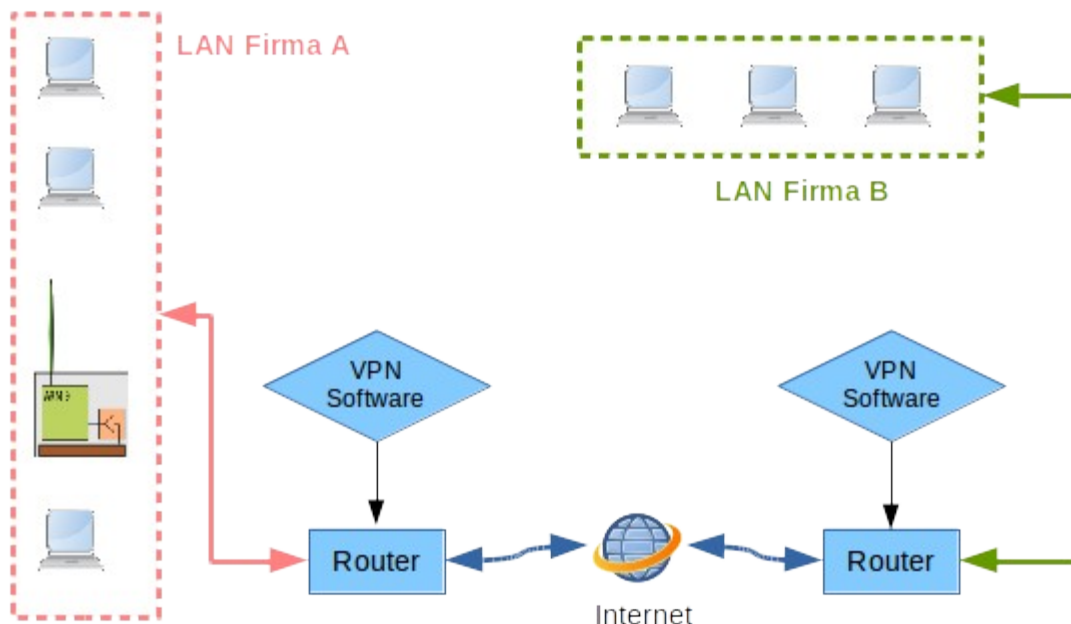


Abbildung 6 Einbindung des AE-Sensors in zwei Firmennetze

Eine komplexere Situation zeigt Abbildung 6. Der AE-Sensor wurde in der Firma A installiert und ist dort in das lokale Netz eingebunden. Über das öffentliche Internet ist er mit der Firma B verbunden. An allen Rechnern in den Firmen A und B können sich AE-

Anwender in den Sensor einloggen. Die VPN-Software sorgt dafür, dass der Sensor nicht im öffentlichen Internet zu sehen ist, obwohl es als Übertragungsweg benutzt wird. VPN steht für Virtual Private Network.

Der AE-Sensor kann mit fester oder automatischer IP-Adresse arbeiten bzw. seine Adresse von einem DHCP-Server beziehen.

## **8. Vor- und Nachteile des Sensors mit integriertem Schallemissionssystem**

Vorteile:

- Sehr kompaktes Schallemissionssystem.
- Äußerst preiswert.
- Fernbedienung von jedem am Netz angeschlossenen Desktop, Tabletcomputer oder auch Smartphone.
- Keine Installation von Software auf den Client-Rechnern notwendig.
- Unabhängig von Betriebssystem und Browsertyp.

Nachteile:

- Der Sensor ist fest mit dem Messsystem gekoppelt und kann nicht ausgewechselt werden.
- Zur Zeit nur einkanalig und keine Ortung.
- Zur Zeit keine Registrierung von sich schnell verändernden Versuchsparametern (z.B. Auslenkung von hochfrequenten Schwingversuchen).
- Nur AE-Parameter und keine Signalformen.

## **9. Ausblick**

Kurzfristig wird die Palette der Sensortypen bezüglich verschiedener Mittenfrequenzen und Bandbreiten erweitert werden.

Der HTML5-Standard enthält weitere neue API's, deren Anwendung zu einer Verbesserung des Leistungsspektrums des AE-Sensors mit integriertem Schallemissionssystem führen wird. Zur Zeit (Anfang 2017) haben die Browserentwickler diese Möglichkeiten noch nicht implementiert bzw. sie befinden sich erst in einem experimentellen Stadium. Die Entwicklung geht jedoch in die Richtung, dass zukünftig auch auf dem Gebiet der Schallemissionsanalyse nur noch geringe Unterschiede zwischen Desktop- und Web-Anwendungen bestehen werden.

Es existieren bereits erste Untersuchungen, wie mit der Web-Technologie zukünftig mehrkanalige Systeme mit Ortung aufgebaut werden können.