

Schalltechnische Betriebsanalyse

Kennzeichnung und Erfassung von Geräuschquellen

Gerd Kramer, Darius Styra, Sankt Augustin, Karl-Heinz Knochenhauer, Wolfsburg

Mit dem vorgestellten Verfahren wird mithilfe moderner Hard- und Software eine rationelle und zuverlässige Erfassung von Geräuschquellen-Daten in komplexen Industrieanlagen ermöglicht sowie die Pflege und Wartung der Daten wesentlich vereinfacht. Die Software organisiert die Dateneingabe und kommuniziert drahtlos mit der Hardware, die die Identifikation der Quelle (Transponderleser) und die Ermittlung der Koordinaten (GPS-Empfänger) übernimmt.

Schalltechnische Betriebsanalysen komplexer Industrieanlagen gehören zu den aufwändigsten Projekten, mit denen akustische Beratungsbüros konfrontiert werden. Zielsetzung der Arbeiten ist i. d. R. die Ermittlung der Immissionsanteile aller relevanten Geräuschquellen sowie der Gesamtimmissionspegel an den vom Lärm am stärksten betroffenen Wohnhäusern. Aus den Daten können nicht nur die fremdgeräuschfreien Immissions- und Beurteilungspegel bestimmt, sondern auch erforderliche Schallminderungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Das Vorgehen bei der Analyse lässt sich folgendermaßen skizzieren:

- Geräuschmessungen im Nahbereich der Quelle,
- Berechnung der Schallleistungspegel jeder Quelle,
- Schallausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613.

Für die Berechnungen gibt es leistungsfähige Software. Der Hauptaufwand für das Projekt liegt in der Datenerfassung. Das geometrische Modell der Werkhallen und der Geländestruktur kann im Idealfall durch Import von CAD- oder GIS-Daten in das Ausbreitungsprogramm übernommen werden oder durch Digitalisierung anhand entsprechender Planunterlagen. Die Position und die Eigenschaften der Emittenten liegen jedoch nur in seltenen Fällen vor. Eine zuverlässige und rationelle Erfassung dieser Daten bildet die eigentliche Herausforderung. Nachfolgend wird ein System vorgestellt, das für die beschriebene Aufgabenstellung konzipiert wurde [1] und sich in der Praxis bereits bewährt hat.

Kennzeichnung von Geräuschquellen

Ein immer wiederkehrendes Problem bei der Datenerfassung ist die Kennzeichnung

der Geräuschquellen. Die Kennzeichnung muss folgende Kriterien erfüllen:

- Eindeutigkeit,
- Zuverlässigkeit und Beständigkeit,
- flexible Datenzuordnung,
- schnelle Zuordnung zu vorhandenen Datensätzen,
- geringe Kosten.

In der Vergangenheit wurde versucht, das Problem mithilfe von Aufklebern, Metall- oder Resopalschildern oder durch eine detaillierte Fotodokumentation zu lösen. Aufkleber lösten sich bereits nach kurzer Zeit durch den Einfluss der Witterung oder durch chemische Einwirkungen wieder ab. Schilder sind sehr aufwändig in der Anbringung und oft bereits nach kurzer Zeit wieder veraltet, wenn sie außer einer Nummerierung weitere Informationen (z. B. Namen der Anlage, zugehörige Kostenstelle) beinhalten sollen. Auch mit einer aufwändigen Fotodokumentation allein ist keine zuverlässige eindeutige Kennzeichnung und Identifikation möglich.

Eine absolut zuverlässige und inzwischen praxiserprobte Methode zur Kennzeichnung wurde mit der Transponder-technologie gefunden. In mehreren Werken der Volkswagen AG und weiteren Industriebetrieben wurde diese Technologie erfolgreich eingeführt. Jedes geräuschemittierende Aggregat, das ins Freie abstrahlt, wird mit jeweils einem Transponder versehen. Dieser besitzt eine eindeutige Identifikationsnummer (ID), die unveränderbar ist (Read-Only-Transponder). Die ID wird mithilfe eines Lesegeräts kontaktlos ausgelesen. Das System funktioniert auch bei extremer Verschmutzung der Transponder.

Mit dieser Kennzeichnung können alle Eigenschaften des Aggregats, der Anlage oder Maschine verwaltet werden. Es liegt nahe, dass das System nicht nur für Schall-

daten, sondern auch für technische Daten, Daten der Luftreinhaltung, der Instandsetzung usw. genutzt werden kann. Unabhängig von der Anwendung und den durchführenden Personen wird immer auf das eindeutig definierte Objekt Bezug genommen. Auch der Datenaustausch zwischen verschiedenen Organisationseinheiten im Werk wird vereinfacht. So können z. B. die im Rahmen einer Geräuschmessung erfassten Schalldaten durch technische Daten, die bei der Instandhaltung vorliegen, ergänzt werden. Die Reihenfolge und der Zeitpunkt der Datenermittlung durch verschiedene beteiligte Stellen sind nicht von Bedeutung. Diese Unabhängigkeit und die nicht erforderliche Absprache stellen gerade in großen Organisationen einen wesentlichen Vorteil dar. Noch wichtiger werden der eindeutige Bezug und die Unabhängigkeit der Datenerfassung, wenn verschiedene externe Firmen beteiligt sind. Sollen z. B. Schallminderungsmaßnahmen an einem Dachlüfter durchgeführt werden, so müssen der Gutachter, der die Prognose erstellt hat, die ausführende Firma und ggf. noch ein weiterer Gutachter, der die Abnahmemessung durchführt, sich ganz sicher auf dasselbe Objekt beziehen. Liegen die Arbeiten, wie es oft der Fall ist, Monate oder gar Jahre auseinander, so ist dieses ohne eine eindeutige Kennzeichnung keine leichte Aufgabe.

Funktionsprinzip der Transponder-technik

Das Prinzip wird als RFID (Radio Frequency Identification) bezeichnet. Auf einem Datenträger, dem Transponder, befinden sich gespeicherte Daten (in der hier beschriebenen Anwendung lediglich eine eindeutige Identifikationsnummer). Das Lesegerät liest die Daten kontaktlos aus. Es besitzt einen Hochfrequenzsender und

-empfänger. Über eine integrierte Antenne wird ein starkes hochfrequentes elektromagnetisches Feld ausgesendet, das mit einem Schwingkreis im Transponder in Resonanz tritt. Für eine ausführliche Funktionsbeschreibung wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Verwendete Transponder

Für die Anwendung wurden Transponder des Typs World Tag WT 30 U verwendet (**Bild 1**). Dieser Typ besitzt eine 64-bit-ID-Nummer und wird in Disk-Bauweise hergestellt. Die Ummantelung besteht aus Polycarbonat. Der Datentransfer erfolgt mit einer Frequenz von 125 kHz. Weitere technische Daten des Herstellers:

Betriebstemperaturen: -25 °C bis + 70 °C,
chemische Beständigkeit: Wasser, Kerosin, Benzin, Salzlösungen, Öle, UV-Strahlung (eigene Untersuchungen: leichte Säuren und Basen),
Durchmesser: 30 mm,
Dicke: 2,1 mm,
Bohrungsdurchmesser: 3,2 mm,
Gewicht: 1,91 g

Befestigung

Um eine rationelle Vorgehensweise zu ermöglichen, wurden die Transponder auf die Oberflächen der Geräuschquellen geklebt. Der geeignetste Klebstoff wurde im Rahmen einer Diplom-Arbeit [2] ermittelt. Dabei wurden umfangreiche Versuche u. a. unter folgenden Aspekten durchgeführt:

- Temperaturbeständigkeit,
- Viskosität,
- Aushärtungszeit,
- Belastbarkeit (Zugbelastung),
- chemische Beständigkeit (Säuren, Basen),
- Witterungsbeständigkeit (UV-Licht/Frost),
- Klebeeigenschaft auf verschiedenen Materialien,
- Handhabung.

Durch die Verwendung von Kartuschenabfüllungen kann der Kleber einfach, sauber und schnell auf die Klebestelle aufgetragen werden. Die Erprobung in der Praxis hat ergeben, dass i. d. R. keine Vorbehandlung der Klebeflächen erforderlich ist. Lediglich bei starken Verunreinigungen ist zu empfehlen, die Oberfläche mithilfe eines Tuchs oder einer Stahlbürste zu reinigen. Die Arbeitszeit für einen Klebevorgang beträgt nur wenige Sekunden.

Geräuschmessung und Koordinatenermittlung

Ein weiteres ständig erneut auftretendes Problem ist die Ermittlung der Koordina-

ten der Geräuschquellen. Nur in wenigen Fällen sind Lagepläne mit eingezeichneten Quellen oder Luftaufnahmen der erforderlichen Auflösung und Aktualität verfügbar, die für die Digitalisierung der Quellen genutzt werden können. Eine neue Möglichkeit der Koordinatenerfassung bietet die moderne Satellitennavigation GPS (Global Positioning System).

Das GPS ist ein Satellitensystem zur Ortung und Navigation, das vom US-Verteidigungsministerium für militärische Zwecke betrieben wird. Etwa 24 GPS-Satelliten senden auf ca. 20 000 km entfernten Umlaufbahnen Signale, die von GPS-Empfängern zur Positionierung genutzt werden. Die zivile Nutzung ist allen erlaubt, die Genauigkeit kann aber durch das US-Verteidigungsministerium eingeschränkt werden. Zur Positionsbestimmung ermitteln die GPS-Empfänger die Signallaufzeiten von den Satelliten zur eigenen Antenne. Über die bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit eines elektromagnetischen Signals werden mindestens vier Raumstrecken zu unterschiedlichen Satelliten gerechnet, die anschließend über das Prinzip des räumlichen Bogenschlags für die eigene Positionsbestimmung herangezogen werden. Dazu müssen zusätzlich die genauen Positionen der Satelliten bekannt sein; diese werden codiert mit den Satellitensignalen ausgesendet. Die Raumstrecken werden durch verschiedene Einflüsse verfälscht. Sie werden deshalb als Pseudostrecken (Pseudoranges) bezeichnet und führen zu einer ungenauen Position.

Um eine möglichst hohe Lagegenauigkeit bei der Positionsbestimmung zu erreichen, wird anstatt eines herkömmlichen GPS-Empfängers ein DGPS-fähiger (D für Differential) Empfänger verwendet. Das DGPS-Verfahren beruht auf dem Vergleich der GPS-Position einer geodätisch fest eingemessenen Referenzstation mit der vom GPS errechneten Position. Die anfallenden Differenzen werden als Korrektursignal ausgesandt und zur Korrektur bei der Positionsbestimmung im GPS-Empfänger herangezogen.

Für DGPS-Dienste gibt es verschiedene Anbieter, z. B. den Satellitenpositionierungsdienst SAPOS der AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland)¹⁾. SAPOS beinhaltet verschiedene Lösungen mit unterschiedlichen Genauigkeitsklassen; diese können online in Echtzeit oder offline genutzt werden. In der hier vorgestellten Anwendung wird der SAPOS EPS „Echtzeit-Positionierungs-Service“ mit einer Genauigkeit von 1



Bild 1 Transponder.

bis 3 m verwendet. Die Korrekturdaten können über drei verschiedene Dienste in Echtzeit empfangen werden:

- RASANT (Radio Aided Satellite Navigation Technique). RASANT ist ein Verfahren, das DGPS-Korrekturdaten in Echtzeit über das Radio-Daten-System RDS von UKW-Rundfunksendern bereitstellt. Um diesen Dienst nutzen zu können, muss ein RTDGPS (Real Time DGPS)-fähiger GPS-Empfänger verwendet werden.
- GSM (Abruf über Mobiltelefon).
- Ntrip (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). Ntrip wurde vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und dem Informatikzentrum Dortmund entwickelt. Ntrip basiert auf dem HTTP-Protokoll und bietet eine einfache Möglichkeit, auf die DGPS-Daten zuzugreifen.

Trotz der Verwendung von DGPS-Empfängern gibt es eine weitere Fehlerquelle, den Multipath-Effekt, der eine Positionsbestimmung mit der Genauigkeit von 1 bis 3 m verhindern kann. Dieser Effekt entsteht, wenn am Gelände oder an sonstigen Objekten in der Nähe des GPS-Empfängers reflektierte Signale in die Positions-Berechnung eingehen. Der Multipath-Effekt ist stark abhängig von der Messumgebung und der Satellitenkonstellation. Dieser Effekt wird durch optimierte Empfänger reduziert, zusätzlich kann die Genauigkeit durch Mittelung und Auswahl von Messzeiten mit hoher Satellitensichtbarkeit verbessert werden.

Datenerfassung

Zentrales Element der rationalen Datenerfassung vor Ort ist ein Tablet-PC (mit außertauglichem Display) mit der zugehörigen Software. Sowohl das Transponderlesegerät als auch der GPS-Empfänger werden drahtlos über eine Bluetooth-Schnitt-

¹⁾ www.lverma.nrw.de und www.saposnrw.de



Bild 2 Datenerfassung vor Ort.



Bild 3 Messsystem.

stelle angesprochen. Der verwendete Tablet-PC wiegt 1,36 kg und lässt sich mithilfe einer speziellen Tragetasche tragen. Der Anwender behält für die Dateneingabe und ggf. weitere Tätigkeiten beide Hände frei. Das Lesegerät hat in der Hemdtasche Platz und wird nur für den Lesevorgang benutzt. Der GPS-Empfänger befindet sich in einem Rucksack oder wahlweise am Gürtel. **Bild 2** zeigt den Einsatz der Geräte.

Der GPS-Empfänger liefert kontinuierlich Daten an den PC. Zur Erhöhung der Genauigkeit werden die Positionskoordinaten über einen Zeitraum gemittelt. Der Mittelungszeitraum wird sinnvollerweise

etwa der Zeit entsprechen, die für die Geräuschmessung erforderlich ist. Über die Software werden sowohl das Einlesen der Transponder-ID als auch die Übernahme der GPS-Daten gesteuert.

Die Software ermöglicht die komplette Eingabe der Daten vor Ort. Dazu gehören auch die Texte für die Quellenbezeichnung, die Abmessungen der Quelle, Messpunkt-Nr., Messfläche usw. Die Eingabe in das PC-Programm erfolgt über einen Stift, entweder über eine virtuelle Tastatur am Bildschirm oder noch schneller und komfortabler über eine sehr zuverlässige Handschrifterkennung. Wie bei allen umfangreicheren Be-

triebsanalysen sind zwei Personen für die Arbeiten erforderlich, eine Person für die Geräuschmessungen und eine andere für die beschriebene Datenerfassung. Folgender Ablauf ist i. d. R. sinnvoll:

Person 1:

- Kleben des Transponders,
- kurze Positionierung des Transponderlesers vor dem Transponder,
- Start des GPS-Mittelungsvorgangs,
- Eingabe der Daten mit dem Stift.

Person 2:

- Geräuschmessung.

Ist die Transponder-Nr. bereits in der Eingabetabelle vorhanden, so springt der Cursor in die entsprechende Tabellenzeile. Die Geräuschquelle kann dann z. B. überprüft und ggf. mit ergänzenden Daten versehen werden. Parallel zu den beschriebenen Vorgängen wird die Geräuschmessung von der zweiten Person durchgeführt. Beide Personen können völlig unabhängig voneinander agieren. **Bild 3** zeigt schematisch den Einsatz der Geräte.

Software

Die verwendete Software SAOS-NP [3] besteht aus einem kompletten Schallausbreitungsprogramm (Gewerbe, Straße, Schiene, Freizeit, Parkplatz) und der Steuerungssoftware für das Transponderlesegerät und den GPS-Empfänger. Die Datenübertragung von diesen Geräten erfolgt kontinuierlich drahtlos über die Bluetooth-Schnittstellen. Zusätzlich können vom PC aus mithilfe des Eingabestifts Befehle an die Geräte gesendet werden. Das Programm ist so aufgebaut, dass keine Aufzeichnungen auf Papier während der Arbeiten erforderlich sind. Vor Beginn der Arbeiten werden Lagepläne und ggf. Luft-

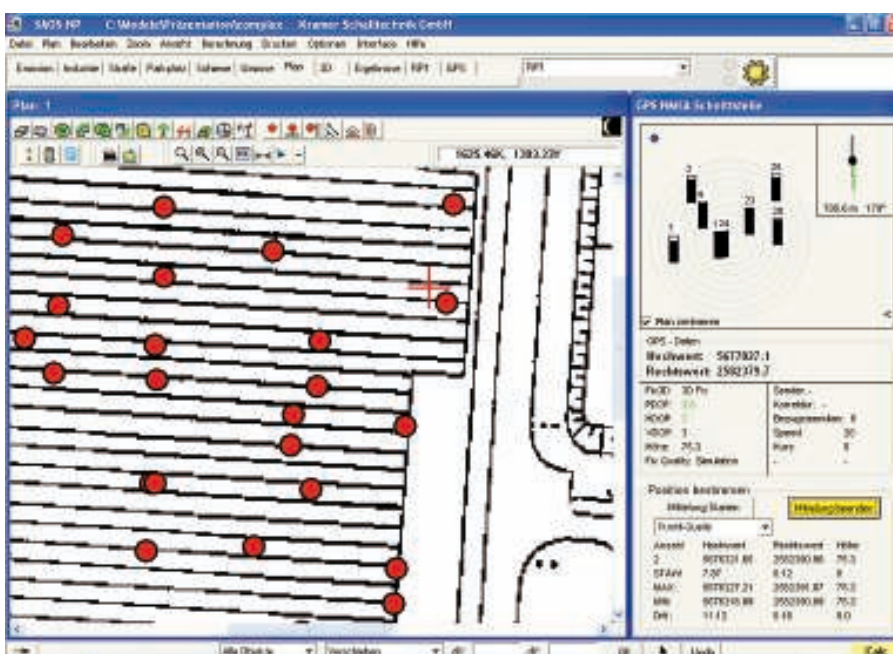


Bild 4 Screenshot.

bildaufnahmen eingelesen. Alle Texteingaben erfolgen mithilfe des Eingabestifts. Auch Freihandzeichnungen und Skizzen können am PC erstellt werden. In der Grafiksicht wird der durch den GPS-Empfänger ermittelte aktuelle Standort auf dem Lageplan angezeigt. Der Anwender kann entscheiden, ob er die GPS-Koordinaten für die Geräuschquelle übernimmt oder die Position auf dem Lageplan mit dem Stift anklickt (Bildschirmdigitalisierung).

Das Programm liefert nach Abschluss der Arbeiten eine einzige Projektdatei, in der alle Daten enthalten sind. Da die Software das komplette Schallausbreitungsprogramm beinhaltet, kann die Ausbreitungsrechnung direkt am Tablet-PC durchgeführt werden (**Bild 4**). Die Datei kann aber auch einfach an den Bürorechner übergeben werden. Über verschiedene Exportfilter (z. B. ASCII-Datei) ist auch die Anbindung an die Software unterschiedlicher Hersteller möglich.

Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Messsystem (Hard- und Software) kann eine wesentliche Steigerung der Rationalisierung und Qualität schalltechnischer Betriebsanalysen erreicht werden. Speziell für Betreiber oder Berater größerer Industrieanlagen dürfte das beschriebene Verfahren interessant sein. Neben einer kostengünstigen erstmaligen Erfassung der Geräuschquellen gestalten sich damit besonders die Aktualisierung und Fortschreibung der akustischen Daten wesentlich einfacher und zuverlässiger. Die komplette Datenerfassung vor Ort direkt am PC verhindert zudem Übertragungsfehler und gibt mithilfe der Software eine strukturierte Vorgehensweise vor. Zusätzliche Aufzeichnungen auf Papier und unhandlichen Lageplänen entfallen komplett. Die Kosten für die Hard- und Software amortisieren sich bereits beim ersten Einsatz.

Literaturverzeichnis

- [1] *Styra, D.*: Entwicklung einer Systemlösung zur Positionsbestimmung von Geräuschquellen. Diplomarbeit Fachhochschule Bingen 2004.
- [2] *Bombelka, T.*: Anwendung der Transpondertechnologie für die technische Akustik. Diplomarbeit Fachhochschule Bingen 2002.
- [3] *Kramer, G.; Styra, D.*: Documentation Interface SAOS-NP, Transponder-Reader, GPS-Receiver. Shape-Export 2005.

Dipl.-Phys. **Gerd Kramer**,
Dipl.-Ing. **Darius Styra**, Kramer
Schalltechnik GmbH, Sankt Augustin.
Dipl.-Ing. **Karl-Heinz Knochenhauer**,
Volkswagen AG, Lärm- und Strahlenschutz, Wolfsburg.