

## Möglichkeiten der Maschinendiagnose mit Ultraschall

Peter Holstein<sup>1</sup>, Dominik Surek<sup>2</sup>, Andreas Tharandt<sup>3</sup>, Hans-Joachim Münch<sup>1</sup>, Sebastian Gramstat<sup>4</sup>

<sup>1</sup>SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, E-Mail: [peter.holstein@sonotec.de](mailto:peter.holstein@sonotec.de)

<sup>2</sup>Hochschule Merseburg, An-Inst. Fluid- und Pumpentechnik, E-Mail: [dominik.surek@hs-merseburg.de](mailto:dominik.surek@hs-merseburg.de)

<sup>3</sup>Steinbeis Transferzentrum Technische Akustik und angewandte Numerik, E-Mail: [stz852@stw.de](mailto:stz852@stw.de)

<sup>4</sup>TU Ilmenau, FG Kraftfahrzeugtechnik, E-Mail: [sebastian.gramstat@tu-ilmenau.de](mailto:sebastian.gramstat@tu-ilmenau.de)

### Einleitung

Methoden der Technischen Akustik bilden ein wesentliches Gerüst der modernen Maschinendiagnose. In den letzten Jahren wurden die Messmethoden u. a. dadurch verbessert, dass eine größere Zahl von Sensoren (bzw. Messkanälen) simultan verwendet werden kann und eine größere Rechenleistung - auch in Echtzeit - zur Verfügung steht. Dabei werden meist Frequenzen im hörbaren Bereich (betriebsbedingte Anregungen und modale Schwingungen) angeregt und interpretiert. Es treten jedoch auch höhere Frequenzen auf, die durch verschiedenen Prozesse angeregt werden. Dabei können Vorgänge wie Reibung in Lagern, Kavitation, strömungsbedingte Turbulenzen, innere Materialreibungen, Reibungen an Kontaktstellen von Konstruktionen und Mikrorisse Schallemissionen hervorrufen, die bis in den Bereich von einigen Hundert kHz reichen. Diese Vorgänge haben in der Regel stochastischen Charakter. Die Diagnose bei höheren akustischen Frequenzen kann eine wertvolle Ergänzung der Technischen Diagnose darstellen und für spezielle Fragestellungen komplementäre Ergebnisse liefern. Breitbandig ausgelegte Sensorik ist dabei zur simultanen Erfassung nieder- und hochfrequenter Schwingungen geeignet.

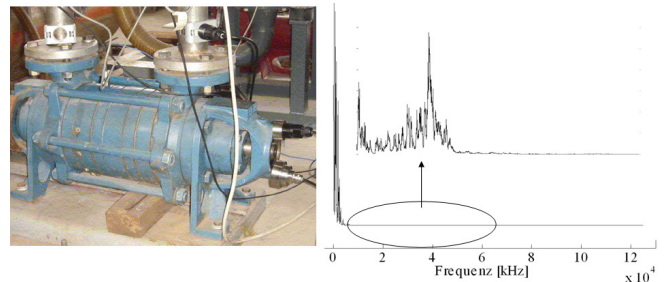
### Anwendungsbeispiele

Im Folgenden sollen an einigen Anwendungsbeispielen Einsatzmöglichkeiten das Potenzial der Erweiterung der Technischen Akustik um den Bereich der Ultraschallfrequenzen angedeutet werden. Gegenwärtig wird Ultraschall-Prüftechnik eingesetzt, um eine schnelle und einfache Diagnose von Lagerschäden, Leckagen in Druckluftleitungen [1] oder auch von elektrischen Störungen zu ermöglichen. Diese Verfahren werden weitgehend qualitativ eingesetzt und sind oft in analoger Technik realisierbar. Die Beispiele im Beitrag zeigen, dass mit der differenzierteren Betrachtung des Zeit-Frequenz-Verhaltens tiefere Einblicke in das Betriebsverhalten und den technischen Zustand möglich ist. Dabei werden die Frequenzen der technischen Akustik und des Ultraschalls simultan erfasst und komplementär bewertet. Dies ist auch deshalb von Bedeutung, da bei vielen Anwendungen in der Praxis aus Kostengründen oft sogar nur ein Sensor akzeptiert wird.

### Pumpen

Bei Vorgängen in Pumpen treten vielfältige Prozesse auf, die auf mehrere Frequenzbänder verteilt sein können. Eine Prognose des zu erwartenden Zeit-Frequenz-Verhaltens würde spezielles Expertenwissen benötigen und ist in der Praxis meist nicht möglich. Die Überwachung mit

festen (relativ engen) Frequenzbändern (üblich bei der auf analoger Basis arbeitenden Ultraschall-Prüftechnik) ist deshalb nicht immer Ziel führend. In Pumpen treten beispielsweise Reibungsanregungen bis 100 kHz und mehr auf. Gasdruck- und Flüssigkeitsdruckschwingungen liegen im Bereich von 1 bis 25 kHz. Kavitationsgeräusche, die typischerweise zwischen 5 und 100 kHz (aber auch höher) auftreten, können sehr große Amplituden erreichen. Weitere Quellen sind lokale Überschallströmung und Verdichtungsstöße, die Frequenzen zwischen 5 und etwa 45 kHz erzeugen. Die von den Gasdruck- oder Körperschallschwingungen abgestrahlten Luftschwingungen als Strömungs-, Triebwerks- oder Maschinenlärm treten im hörbaren und im Ultraschallbereich bei Frequenzen von 16 Hz bis 120 kHz auf.



**Abbildung 1:** Dreistufige Seitenkanalpumpe mit Ultraschallsensoren. Das Spektrum (Breite 125 kHz) weist einen deutlichen Anteil um etwa 40 kHz auf, der Kavitationsvorgängen zugeordnet wird.

Zur detaillierten Beschreibung müssen umfangreiche Betriebszustände der Pumpensysteme angefahren werden und die Betriebsdaten zum Vergleich herangezogen werden. Derartige Experimente werden daher gegenwärtig durchgeführt [2].

### Bremsen

Eine wichtige Fragestellung an Bremsen von Kraftfahrzeugen ist die Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Bremskraft und der tatsächlich auf das Bremsmaterial gebrachten Bremsleistung. Zum Verständnis sind insbesondere die Reibvorgänge von Bedeutung. Im aufgeführten Beispiel (Abb. 2) sind neben den betriebsbedingten Geräuschen (drehzahlbezogene, Strukturanregungen) die beim Einsetzen des Bremsvorganges entstehenden Frequenzanteile im Ultraschallbereich zu erkennen, die systematisch mit der Erhöhung des Anpressdrucks zunehmen. Die auftretenden Frequenzen hängen dabei nur von der Materialpaarung ab. Damit sind diese eindeutig von rein betriebsbedingten Vorgängen zu unterscheiden.

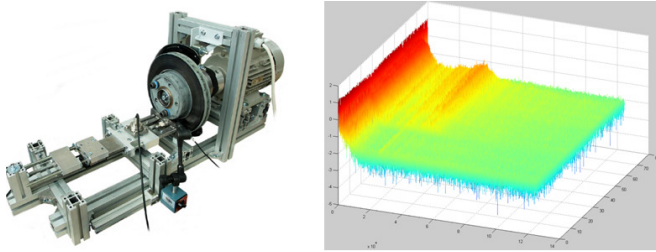


Abbildung 2: Aufbau zur Untersuchung der Entstehung von Körperschall, insbesondere zum Beitrag der reibungsbezogenen Anregung.

## Pipeline-Service

Beim Service von Pipelines spielen sogenannte Molche (*im Engl. Pigs*) eine wichtige Rolle bei der Reinigung und bei der technischen Überwachung. Der funktionssichere Lauf der Molche ist ebenfalls eine wichtige Fragestellung für den Service. Insbesondere ist es notwendig zu wissen, ob ein Molch eine bestimmte Stelle passiert hat. Für Gas gefüllte Pipelines wurde ein Verfahren auf Basis der Schallemission entwickelt [3]. Ähnlich wie beim Eingang erwähnten Bereich der Pumpen, bilden sich unterschiedliche Prozesse in verschiedenen Frequenzbereichen ab (Abb. 3), die voneinander unterschieden werden müssen, um eine sichere Detektion der (nur einmalig vorkommenden) Ereignisse zu gewährleisten. Aufgrund der Vielfalt der Geräusche sind einfache Bewertungen (z. B. Pegel in einem Frequenzband) nicht Ziel führend. Die Algorithmen zur sicheren Bewertung von Ereignissen (Klassifikation) werden aus dem Zeitfrequenzverhalten generiert, wobei die Einbeziehung der Ultraschallfrequenzen essenziell ist.

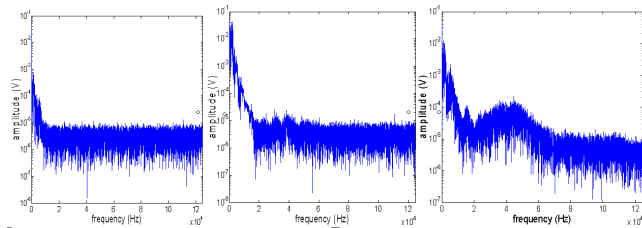


Abbildung 3: Charakteristisches akustisches Frequenzverhalten während der Molchung einer Gas-Pipeline - links: nur Gasfluss, Mitte: zusätzliche unbekannte Ursachen (Servicearbeiten u.ä.), Reibungsgeräusche während der Passage am Sensorsystem.

## Datenverarbeitung

Die besondere Bedeutung der Datenverarbeitung kann an dieser Stelle nur angedeutet werden. Die Auswerterroutinen müssen in der Regel erst erarbeitet werden. Expertenwissen steht oft nicht zur Verfügung. Da bei den Messungen (z. B. bei 4 Kanälen à 250 kHz) schnell sehr große Mengen entstehen können, wurde dem Handling der Daten große Aufmerksamkeit gewidmet [4]. Insbesondere bei transienten Vorgängen können auf diese Weise mit einem iterativen Zugang die Auswerterroutinen optimiert und Praxis tauglich gemacht werden. Datenfiles bis zu 50 GB wurden mit dieser Technologie bearbeitet und für die Algorithmenerstellung verwendet.

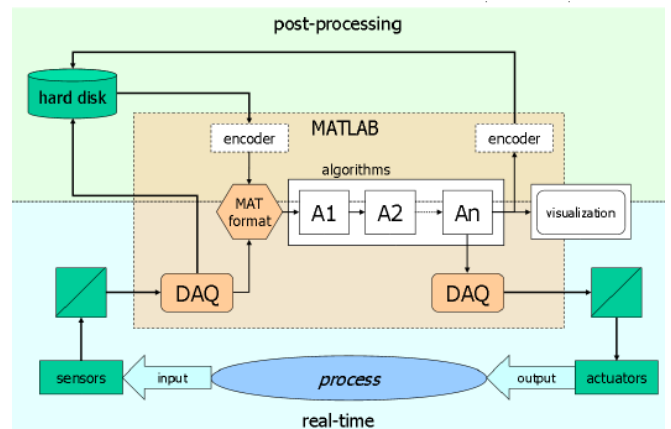


Abbildung 4: Schema Algorithmusanpassung

## Sensorik und Messtechnik

Die eingesetzte Sensorik beruht auf in einem weiten Frequenzbereich verwendbaren Ultraschallsensoren (E22a /SONOTEC). Die Kennlinie kann linearisiert werden. Der Dynamikumfang der Messtechnik (National Instruments) erlaubt eine ausreichende Auflösung über dem gesamten Frequenzbereich. Alle Filterung konnten deshalb digital vorgenommen werden. Messung, Datenvorverarbeitung und Auswertalgorithmen wurden in MATLAB programmiert.

## Ausblick

Das Potenzial der Möglichkeiten der Technischen Diagnose, welches die Erweiterung des Frequenzbereichs hin zu höheren Frequenzen bietet, ist bei weitem noch nicht erschlossen. Neben vielen vor allem für Prüfzwecke entstandenen Anwendungen, bietet vor allem die komplementäre Bewertung von nieder- und hochfrequenten Schwingungen vielfältige Möglichkeiten, wie die aufgezeigten Beispielen an den Prüfständen für Pumpen und Bremsen sowie die Feldbeispiele aus dem Pipelinebereich zeigen. Die Erweiterung und Vielfalt der Methoden wird dabei vom verstärkten methodischen Einsatz moderner Signalverarbeitungsmethoden forciert.

## Literatur

- [1] Holstein, P., zur Horst-Meyer, S., Korngiebel, H., Tharandt, A. Lecksuche mit Ultraschall, 8.Tagung Technische Diagnose, Merseburg, 10/2008, ISBN: 978-3-9811266-1-4
- [2] Surek, D., P. Holstein, P., Münch, H.-J., Stempin, S., Tharandt, A. Maschinendiagnose mit Ultraschall, 9. Tagung Technische Diagnose, Merseburg, 10/2010, ISBN 978-39811266-8-6
- [3] Holstein, P., Münch, H.-J. zur Horst-Meyer, S., Tharandt, A., Bauerschäfer, U., Ledig, L., Gai, S., Krüger, K. Ultrasonic Pig Detection at Pipelines, PPSA Workshop 2010, Aberdeen (UK), Pigging Product & Services Association, Proceedings
- [4] Holstein, Münch, H.-J., Tharandt, A. Handling großer Datenmengen, Proceedings, 17. DGZfP-Kolloquium Schallemission, 2009