



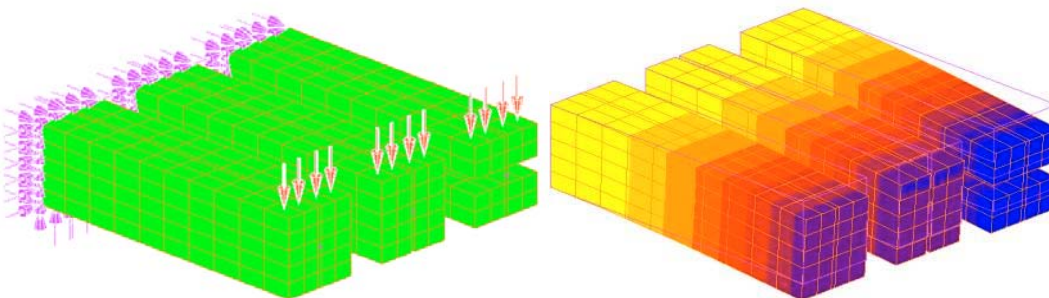
## Risserkennung durch Klanganalyse

### Fehlererkennung durch richtige Messkonzepte

Resonanzen von Produkten ermöglichen Aussagen über die mechanische und die geometrische Güte. Schon kleinste Veränderungen eines Körpers verursachen charakteristische Veränderungen des Schwingverhaltens. Aber so, wie wir auch z.B. ein Blatt Papier von der Seite nur als feinen Strich erkennen, können manche akustische Effekte nur unter dem richtigen „Blickwinkel“ erkannt werden. Und so, wie wir einen Menschen auf dem Mond mit bloßem Auge nicht erkennen können, ist auch die Erkennbarkeit von Fehlern durch Resonanzanalyse erst möglich, wenn der Fehler im Verhältnis zum Produkt eine Mindestgröße hat. Freilich können spezialisierte Messgeräte bereits Unterschiede erkennen, die zu klein sind um vom Menschen wahrgenommen werden zu können.

Wie der „richtige Blickwinkel“ ist und welche Mindestgröße erforderlich ist, ließ sich bisher nur sehr aufwändig durch groß angelegte Versuchsreihen ermitteln. Durch Einsatz moderner Simulationswerkzeuge kann sehr gut abgeschätzt werden, mit welcher Messmethode welche Fehlergröße erkennbar ist.

Zur Veranschaulichung ist ein Stab mit quadratischem Querschnitt ein brauchbares Modell (Abbildung 1). Ein möglicher Fehler dieses Stabes ist ein Riss, der den Stab längs teilt. Schwingt dieser Stab in der Rissebene, so lässt sich am Modell zeigen, dass der gerade noch erkennbare Fehler sehr groß ist. Schwingt der Stab aber senkrecht zur Rissebene, so weicht die Resonanzfrequenz schon bei geringer Risttiefe und Risslänge deutlich von der Resonanzfrequenz des rissfreien Stabes ab.



**Abbildung 1: Modellansatz unterschiedlicher Blickwinkel auf einen „sehr großen“ Riss<sup>1</sup>**

Um den Riss im Stab zu erkennen, müssen wir den Stab in zwei Ebenen schwingen lassen und die Messwerte vergleichen. Unabhängig von Geometrietoleranzen des Stabes wird sich bei Stäben mit Riss ein Unterschied in den beiden Messungen zeigen, während rissfreie Stäbe bei beiden Messungen gleich schwingen.

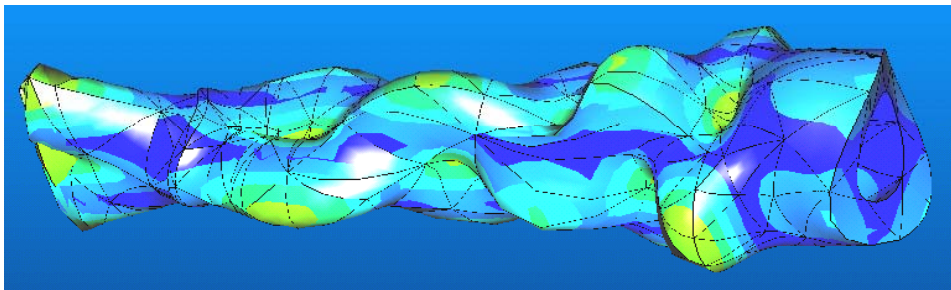
Die zukunftsweisende Analysemethode EARS ermöglicht, aus akustischen Messwerten, die Ursache von Abweichungen zu identifizieren. So können am Stab Länge, Breite und Höhe identifiziert und für die erkennbaren Fehler sogar Fehlerort und Fehlergröße abgeschätzt werden.

---

## Fehlererkennung in der Fertigung

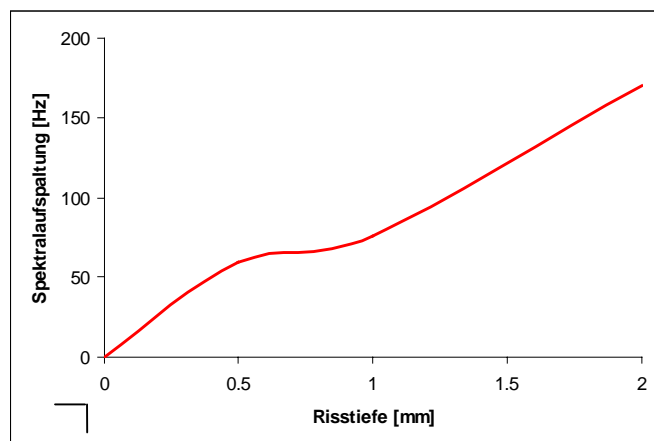
Um die Leistungsfähigkeit akustischer Verfahren zu demonstrieren, können wir Ergebnisse aus dem industriellen Umfeld heranziehen: Ein ca. 3 kg schweres Stahlrohr wird in einem Bearbeitungsprozess umgeformt. Hierbei kann es zu Rissen an der Rohrinnenseite kommen, die zu einem Sicherheitsrisiko führen. Durch Simulation konnte prognostiziert werden, welche Schwingformen besonders empfindlich auf Risse reagieren (Abbildung 2). Aus dieser Information ergab sich das Konzept für das erforderliche Prüfverfahren: Anzahl der Messungen, idealer Anregeort, Auswahl von Sensorik und Klassierungsverfahren.

Innerhalb weniger Wochen konnte der Prüfstandhersteller einen Prüfstand-Prototyp in Betrieb nehmen und sofort hervorragende Prüfergebnisse nachweisen. Ein Erfolg für alle an der Entwicklung Beteiligten.



**Abbildung 2: industrielle Anwendung: Eigenform eines Rohrs<sup>ii</sup>**

Ein weiteres Ergebnis der Simulation war die Aussage, dass Risse bei gegebener akustischer Messgenauigkeit ab einer Tiefe von ca. 70  $\mu\text{m}$  und einer Länge von 10 mm erkannt werden können (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Akustischer Effekt bei der Schwingform in Abbildung 2. Bei einer Messunsicherheit von ca. 10 Hz, werden Risse von 70  $\mu\text{m}$  erkannt<sup>iii</sup>**

Bei umfangreichen Messreihen in der Fertigung konnten 95% aller Rohre erkannt werden, bei denen Risse von mehr als 10 mm Länge und 0,1 mm Tiefe aufgetreten waren. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Riss offen oder geschlossen ist. Das heißt, der Riss kann auch im Körperinneren versteckt und optisch nicht erkennbar sein.

---

## Risserkennung bei Kirchenglocken

Bei einer Glocke verhält es sich ähnlich. Wie die Glocken der Dresdner Frauenkirche gezeigt haben, führen dicke, großflächige Verzierungen zu sogenannten Doppeltönen. Je nach Anschlagort der Glocke sind diese Doppeltöne kaum zu hören, oder verursachen den „Phänomenalen Missklang“. Ein Formversatz beim Gießen oder ein Riss führen durch ihren Einfluss auf die Symmetrie zu einem ähnlichen Effekt. Unterscheiden kann man die drei Ursachen durch regelmäßige Überwachungsmessungen. Der Einfluss von Zier und Formversatz sind statische Größen - ein Riss „wächst“. Der Effekt eines Risses kann also erkannt werden, wenn als Vergleichswert der Klang ohne Riss vorliegt. Natürlich muss mit den „richtigen Blickwinkeln“ gemessen worden sein.

Über Kirchenglocken berichteten wir in unseren Mitteilungen 01/2004, die Sie nachträglich anfordern können.

---

## EARS: Identifikation von Produktabweichungen

Um auf Produktabweichungen schnell und gezielt reagieren zu können, ist die Identifizierung der Abweichung erforderlich. Eine effiziente Möglichkeit ist der Einsatz von EARS (Enhanced Acoustic Resonance Shift), das die Synthese von Simulationsergebnissen und Messdaten eines realen Produktes herstellt. Mit EARS werden Bauteilgeometrie und Materialeigenschaften erkannt sowie Fehlergröße und Ort identifiziert. Ein Patent von Prof. Dr. Steinbuch und md-pro GmbH.

Ausführliches Informationsmaterial können Sie bei uns mit dem angehängten Faxformular anfordern.

---

## Mobiler Messkoffer für akustische Aufzeichnungen

Wie klingt ein Produkt? Führen innere Spannungen oder Risse zu detektierbaren akustischen Effekten? Für Messungen an wechselnden Einsatzorten haben wir einen mobilen Messkoffer zusammengestellt, mit dem jederzeit an jedem Ort Messungen in hoher Qualität durchgeführt werden können. Die enthaltenen Messgeräte sind batteriebetrieben (auch NiMH-Akku) und ermöglichen Stereo-Aufzeichnungen in CD-Qualität von bis zu 100 Minuten (Mono bis 200 Minuten). Die Messdaten können über die USB-Schnittstelle direkt im WAV-Format auf einen PC oder Laptop übernommen werden.

Ausführliches Informationsmaterial können Sie bei uns mit dem angehängten Faxformular anfordern.

---

## Vortrag bei der DAGA 2004

Bei der DAGA 2004 in Straßburg eröffnen wir die Vortragsreihe „Musical Acoustics“ mit Beiträgen über die Simulation und den musikalischen Fingerabdruck von Kirchenglocken. Nähere Informationen finden Sie unter: <http://www.mdpro.de/depot/>.

---

<sup>i</sup> Modell und Simulation durch Prof. Rolf Steinbuch, FH Reutlingen

<sup>ii</sup> Modell und Simulation durch Prof. Rolf Steinbuch, FH Reutlingen

<sup>iii</sup> Berechnung durch Prof. Rolf Steinbuch, FH Reutlingen