

# ANWENDUNGEN DER AKUSTISCHEN MUSTERERKENNUNG

*Constanze Tschöpe<sup>1</sup>, Matthias Wolff<sup>2</sup> und Rüdiger Hoffmann<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Fraunhofer IZFP Dresden, <sup>2</sup>BTU Cottbus, <sup>3</sup>TU Dresden  
constanze.tschoepe@izfp-d.fraunhofer.de*

**Kurzfassung:** Die akustische Mustererkennung gewinnt in der zerstörungsfreien Prüfung immer mehr an Bedeutung. Unabhängig von der Art der Signalgewinnung besteht die Aufgabe, die aufgenommenen Daten zu bewerten und eine Entscheidung zu treffen. Diese Entscheidung hängt von der Problemstellung ab und kann entweder hart oder graduell ausfallen.

Die Anwendungen der akustischen Mustererkennung sind vielfältig. Bereits bei technischen Signalen konnte bereits eine breite Palette an Anwendungen erfolgreich bearbeitet werden. Bei der automatisierten Zahnradprüfung erfolgt direkt nach dem Herstellungsprozess eine Kontrolle auf Risse, Lunker und andere Fehlerarten. In Form einer Gut-/Schlechtanalyse werden die fehlerhaften Teile aussortiert. Die Aufgabe besteht also hier darin, eine harte Entscheidung („Zahnrad gut“ oder „Zahnrad schlecht“) zu treffen, aber alle fehlerhaften Zahnräder müssen erkannt werden (100 %-Prüfung).

Die Prüfung von Magnetventilen anhand der Schaltgeräusche dagegen erfordert eine graduelle Entscheidung. Da die Ventile beispielsweise in Chemieanlagen eingesetzt werden und dort ein korrektes Schalten zu gewährleisten ist, muss ein bevorstehender Ausfall rechtzeitig erkannt und dadurch verhindert werden. Die Ventile werden permanent überwacht, und die getroffenen Aussagen lauten „Ventil neuwertig“ oder „Ventil 50 % der Lebenszeit erreicht“.

Flugzeugbauteile werden permanent überwacht, um Beschädigungen und Ermüdung zu erkennen. Dabei müssen auch kleine Risse oder Einschlüsse aufgespürt werden.

Aber nicht „nur“ für die Bewertung technischer Signale ist die akustische Mustererkennung eine geeignete Methode. Auch Musik- oder Biosignale können klassifiziert werden.

## 1 Einführung

Bei einer großen Anzahl an Prüfaufgaben in der zerstörungsfreien Prüfung fallen akustische Signale an, die zu bewerten sind. Dadurch gewinnt die akustische Mustererkennung zunehmend an Bedeutung. Die Entstehung der Signale ist unterschiedlich (aktive oder passive Verfahren), aber das Ziel, eine Entscheidung bzw. Klassenzuordnung vorzunehmen, verbindet alle diese Problemstellungen.

Abbildung 1 zeigt die Signalkette von der Signalaufnahme bis zur Entscheidung für einen Sensor. Die Signalkette lässt sich grob in Analysator und Klassifikator unterteilen: Der Analysator bereitet das Signal auf, indem er die relevanten Informationen (Merkmale) extrahiert und eine Folge dieser Merkmale bereitstellt. Der Klassifikator benötigt mindestens ein Modell, um aus der Merkmalsvektorfolge eine Entscheidung zu treffen. Diese Entscheidung ist problemabhängig und kann entweder hart oder graduell ausfallen.

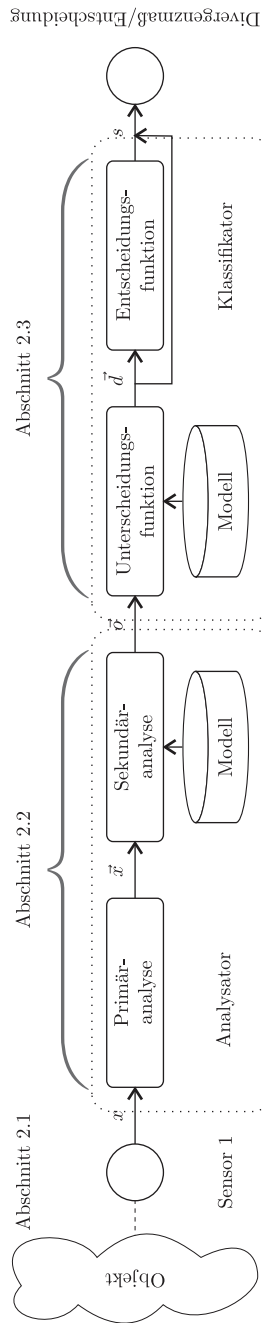


Abbildung 1 - Signalkette von der Signalaufnahme bis zur Entscheidung für einen Sensor, aus [2].

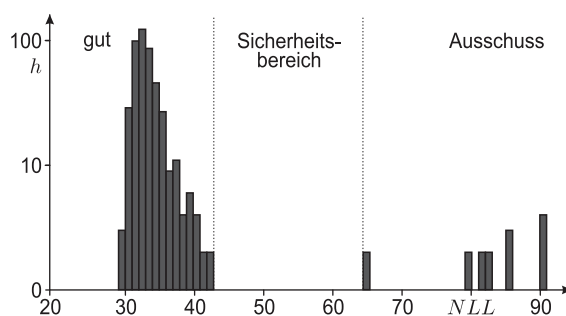
## 2 Anwendungen

Die Palette der Anwendungen ist vielfältig und breit gefächert und nicht nur auf auf technische Signale beschränkt. Auch Bio- und Musiksignale lassen sich mit Hilfe der akustischen Mustererkennung klassifizieren, wie die folgenden Beispiele zeigen.

### 2.1 Zahnradprüfung

Bei der Herstellung von gesinterten Zahnradern können Fehler (z. B. Risse oder Fehlstellen) entstehen. Eine automatisierte Prüfung soll möglichst alle Fehler finden, ohne dabei zu viele gute Teile auszusortieren. Um eine Fehlklassifikation auszuschließen, sollte der Sicherheitsabstand zwischen guten und schlechten Teilen sehr groß sein (siehe Abbildung 2). Das Ergebnis

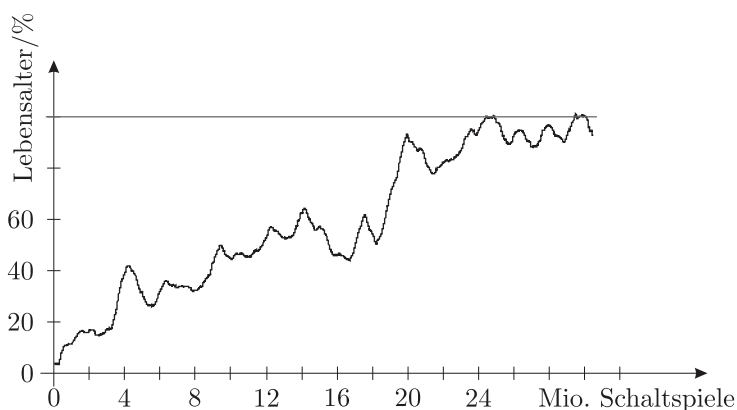
zeigt, dass alle Teile zu 100 % richtig klassifiziert wurden.



**Abbildung 2** - Automatische Gut-Schlechtanalyse von Zahnrädern, aus [5]. Alle Teile wurden richtig klassifiziert.

## 2.2 Ventilprüfung

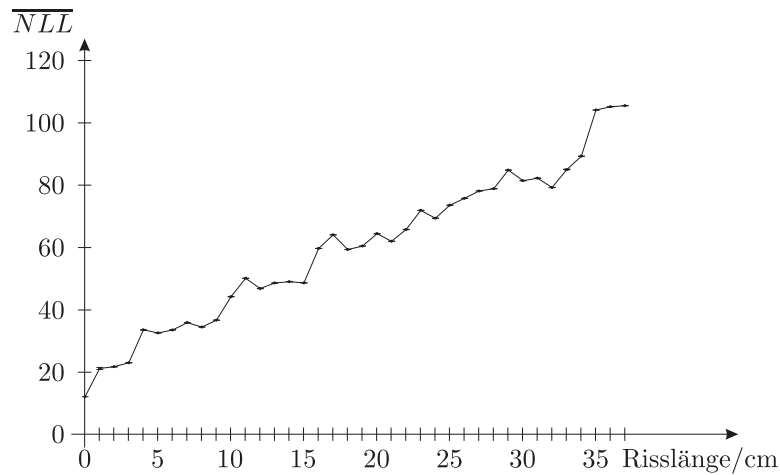
Ein Ausfall der Ventile, die u. a. in Chemieanlagen eingesetzt werden, könnte unter Umständen schlimme Folgen nach sich ziehen. Daher ist es notwendig, einen möglichen Ausfall der Ventile vorher zu erkennen. In einem Dauertest wurden Ventile zyklisch geschaltet. Mit Hilfe der aufgezeichneten Schaltgeräusche kann das Alter eines unbekanntes Ventils (unabhängig von der Anzahl der Schaltspiele) aufgrund des bekannten Verhaltens anderer Ventile geschätzt werden und somit das Ventil vor einem möglichen Ausfall ausgetauscht werden [2]. Abbildung 3 zeigt, dass die durch den Ventilhersteller garantierte Lebensdauer von 10 Mio. Schaltspielen deutlich überschritten werden kann (24 Mio. Schaltspiele), bevor das Ventil ausgetauscht werden sollte.



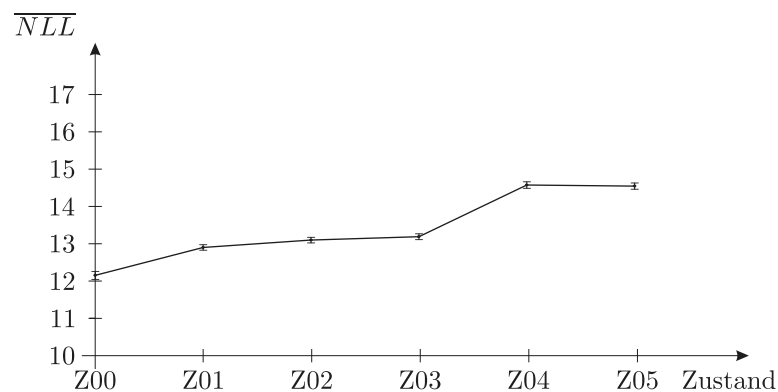
**Abbildung 3** - Geschätztes Lebensalter eines unbekanntes Ventils, abgetragen über der Anzahl der Schaltspiele (tatsächliches Alter), aus [2].

## 2.3 Prüfung von Flugzeugmaterialien

Eine permanente Zustandsüberwachung in Flugzeugmaterialien dient dazu, Risse und Einschläge zu entdecken. In unseren Untersuchungen wurden zwei Platten aus typischen Materialien (Aluminium und kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff, CFK) mit Sensoren bestückt und permanent überwacht. In mehreren Schritten wurden Risse bzw. Einschläge eingebracht. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Ergebnisse. Selbst kleine Risse (1 cm) oder geringe Einschläge (mit einer Energie von 15 J) können vom intakten Zustand (Z00) unterschieden werden [4].



**Abbildung 4** - Neglog-Likelihood als Maß für die Abweichung der Signale vom Zustand ohne Riss, aus [2].



**Abbildung 5** - Neglog-Likelihood als Maß für die Abweichung der Signale vom intakten Zustand, aus [2].

## 2.4 Papierprüfung

Bei Tissueprodukten wird großer Wert auf Weichheit gelegt. Die verschiedenen Sorten weisen minimale Unterschiede auf. Um die Produkte instrumentell vergleichen zu können, wird ein neues Verfahren genutzt, bei dem die Papierproben zerrissen und die Reißgeräusch über ein Mikrofon aufgezeichnet werden. Damit können unbekannte Proben bekannten Papiertypen zugeordnet werden [3]. Für das Experiment wurden 50 Proben untersucht und dem ähnlichsten der fünf Papiertypen zugeordnet. Abbildung 6 zeigt die Verwechslungsmatrix, in der die Anzahl der Erkennungen eingetragen ist. Obwohl keinerlei Optimierung im Versuchsaufbau enthalten ist, beträgt die Erkennungsrate 75 %.

## 2.5 Biosignale

Akustische Mustererkenner sind auch für medizinische Anwendungen geeignet, z. B. zur instrumentellen Blutdruckmessung. Dazu wurden Stethoskopsignale von Patienten im Ruhezustand und bei gymnastischen Übungen (Hantelheben) verwendet, in denen der Anfangs- und Endzeitpunkt des Pulsgeräusches bestimmt werden sollte. Medizinisches Personal überprüfte die Richtigkeit der erzielten Ergebnisse. Im Ruhezustand waren 79 % richtig, bei den gymnasti-

Typmodell	F	1	6	1	3	33
	D	4	0	10	35	1
	C	2	1	35	9	1
	B	1	42	0	0	14
	A	42	1	4	3	1
		A	B	C	D	F
		Probertyp				

Abbildung 6 - Verwechslungsmatrix von fünf Papiertypen, aus [5].

schen Übungen, einer ungleich schwierigeren Aufgabe, immerhin 41 % [6].

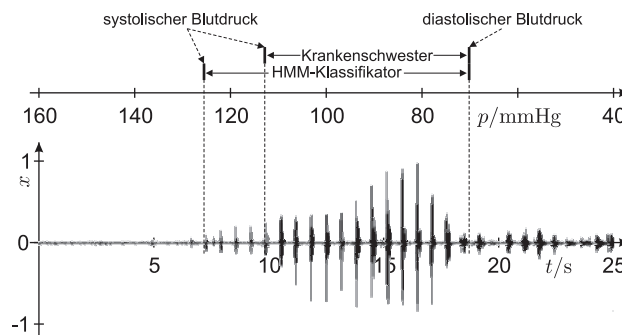


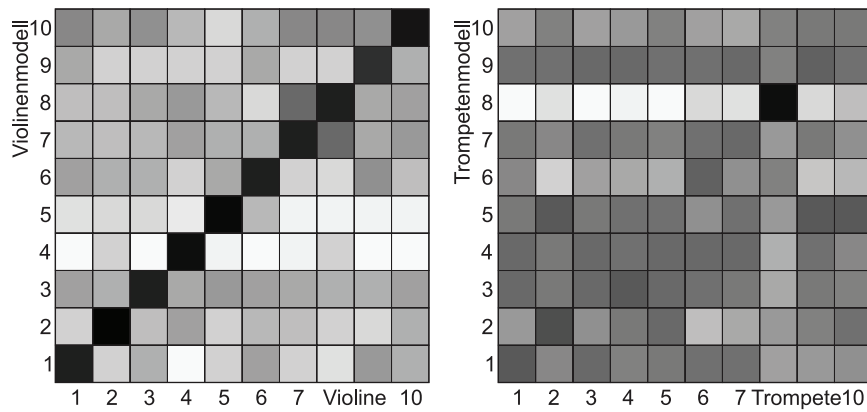
Abbildung 7 - Stethoskopsignal zur Blutdruckmessung mit eingetragenem Anfangs- und Endzeitpunkt, ermittelt durch eine Krankenschwester und durch instrumentelle Bestimmung, aus [5].

## 2.6 Musiksignale

Musikinstrumente sollen möglichst wiedererkennbar sein, und zwar unabhängig vom Spieler, von den Musikstücken und den Räumen. Die Aufgabe bestand darin, ein Instrument aus jeweils zehn zu erkennen. Dabei spielten fünf Musiker auf zehn Violinen, Konzertgitarren und Trompeten je drei unterschiedliche Stücke in zwei verschiedenen Räumen. Die Erkennungsraten der Instrumente waren bei Violinen (90-96 %) und Gitarren (95-99 %) sehr gut, bei Trompeten dagegen schlechter ( $\approx 33\%$ ). Abbildung 8 zeigt die gemittelten Bewertungsmatrizen [1].

## 3 Zusammenfassung

Die akustische Mustererkennung ist für Aufgaben aus dem Bereich der zerstörungsfreien Prüfung sehr gut geeignet. Darüber hinaus können auch Musik- oder Biosignale erfolgreich klassifiziert werden. Die Mustererkennung stellt keine Anforderungen an die Art, wie die Signale generiert werden. Sie ist in der Lage, ihr Wissen aus bekannten Objekten zu ziehen (z. B. Lebensdauer von Ventilen von der 1. Schaltung bis zum Ausfall) und auf unbekannte Ventile anzuwenden. Die Aussagen, also die Art der Klassifikationsentscheidung, können hart oder graduell ausfallen.



**Abbildung 8** - Gemittelte Bewertungsmatrizen für Violinen (links) und Trompeten (rechts). Dunkle Flächen kennzeichnen eine große Ähnlichkeit, aus [5].

## Literatur

- [1] EICHNER, M., WOLFF, M. und HOFFMANN, R.: *Instrument classification using Hidden Markov Models*. In: *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval. ISMIR 2006*, S. 349–350, Victoria, BC, Canada, Oct. 2006.
- [2] TSCHÖPE, C.: *Akustische zerstörungsfreie Prüfung mit Hidden-MARKOV-Modellen*. Dissertationsschrift, Technische Universität Dresden, TUDpress, 2012.
- [3] TSCHÖPE, C., WOLFF, M., STRECHA, G., DUCKHORN, F., FEHER, T. und HOFFMANN, R.: *Automatisierte Weichheitsprüfung von Papier*. DACH-Jahrestagung 2012, Graz.
- [4] TSCHÖPE, C., WOLFF, M. und HOFFMANN, R.: *Akustische Mustererkennung für die ZfP*. *MP Materials Testing*, 10:701–704, 2009.
- [5] WOLFF, M.: *Akustische Mustererkennung*. Habilitationsschrift, Technische Universität Dresden, TUDpress, 2011.
- [6] WOLFF, M., KORDON, U., HUSSEIN, H., EICHNER, M., HOFFMANN, R. und TSCHÖPE, C.: *Auscultatory Blood Pressure Measurement using HMMs*. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. ICASSP 2007*, Bd. 1, S. 405–408, April 2007.