

Entwurf einer Fuzzy-Logic Regelung für Windsystemauslassventile in Kirchenorgeln

Dubovski Zlatko¹, Pitsch Stephan¹, Miklós András²

¹ Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, Deutschland Email¹: pitsch@ibp.fhg.de,

² Steinbeis Transfer Zentrum Angewandte Akustik, Landauer Str. 24, 70499 Stuttgart

Einleitung

Untersuchungen an den Windsystemen von traditionellen Orgeln haben gezeigt, dass sowohl Druckverluste als auch Druckschwankungen auftreten, die sich negativ auf den Pfeifenklang auswirken. Zur Erforschung der Ursachen dieser Druckprobleme und zur Entwicklung von geeigneten Lösungen haben sich Anfang 2000 zwölf Orgelbauern aus ganz Europa im Rahmen dreier von der europäischen Union geförderten CRAFT - Projekte u.a. mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) zusammengeschlossen. Ein wichtiges Ergebnis dieser Forschung sind Konzepte für offene Windsysteme mit mechanisch geregelten Auslassventilen, die Druckverluste sehr gut ausgleichen und Druckschwankungen dämpfen können [1].

Um das Druckverhalten von Windsystemen ganz gezielt beeinflussen zu können, wurde am IBP ein Auslassventil mit elektronischer Regelung entwickelt. Der Entwurf einer Fuzzy-Logic Reglers für dieses Ventil und erste Testmessungen an einem Laborwindsystem werden im Folgenden beschrieben.

Traditionelles Windsystem

In einem traditionellen Windsystem erfolgt die Druckregelung mit einem Balg. Durch Verwendung von Gewichten oder Federn wird der gewünschte Betriebsdruck eingestellt. Dabei wird der vom Gebläse bereitgestellte Volumenstrom über die senkrechte Position des Balgdeckels, der mit einem Rollventil gekoppelt ist, geregelt. Beim Spielen der Orgel treten in der Regel zwei unerwünschte Phänomene auf: zwischen Windkasten und Balg kommt es zu einem stationären Druckabfall (bleibende Regeldifferenz), verursacht durch Druckverluste im Kanalsystem. Ein weiteres Problem sind Druckschwankungen, die durch große Volumenstromänderungen beim Drücken und Loslassen der Tasten entstehen und sich störend auf den Pfeifenklang auswirken können. [2]

Funktionsweise des offenen Windsystems mit Windkasten Auslassventil

Eine Möglichkeit zur Lösung dieser Probleme ist ein elektronisch geregeltes Auslassventil, das am Windkasten angebracht wird (Abb. 1). Die traditionelle Regelung (Balg + Rollventil) muss dabei deaktiviert werden. Der Druck im Windkasten wird über einen Drucksensor (DS) gemessen, der den aktuellen Wert an den Mikrocontroller (MC), Freescale HCS12) überträgt. Dieser berechnet aufgrund dieses Eingangsparameters die Sollwertvorgabe für den Schrittmotor (M), der das Ventil in die benötigte Position bewegt und so die Auslassfläche einstellt. Durch die

Druckregelung im Windkasten ist es möglich alle Druckverluste zwischen Balg und Windkasten auszugleichen. Außerdem strömt immer ein Teil des vom Gebläse bereitgestellten Volumenstroms durch das Ventil in die Umgebung. Diese Öffnung im Windsystem dämpft die beim Spielen auftretenden Druckschwungsspitzen. Das Ausströmgeräusch kann durch einen Schalldämpferkanal, der direkt am Auslassventil angebracht ist, minimiert werden.

Für Orgelbauer wäre es eine deutliche Verbesserung eines traditionellen Windsystems, sein Druckverhalten je nach Geschmack einstellen zu können. Dass dies durch das geregelte Auslassventil möglich ist, sollte durch Druckmessungen mit zwei verschiedenen in der Regelung implementierten Windcharakteristiken gezeigt werden: Bei der Einstellung „normaler Wind“ soll der Druck so schnell wie möglich ohne Überschinger den eingestellten Ausgangswert wieder erreichen. Bei der Einstellung „langsamer Wind“ wird der Wind langsam auf seinen Sollwert eingeregelt, was einen „drückenden“ Klang erzeugt.

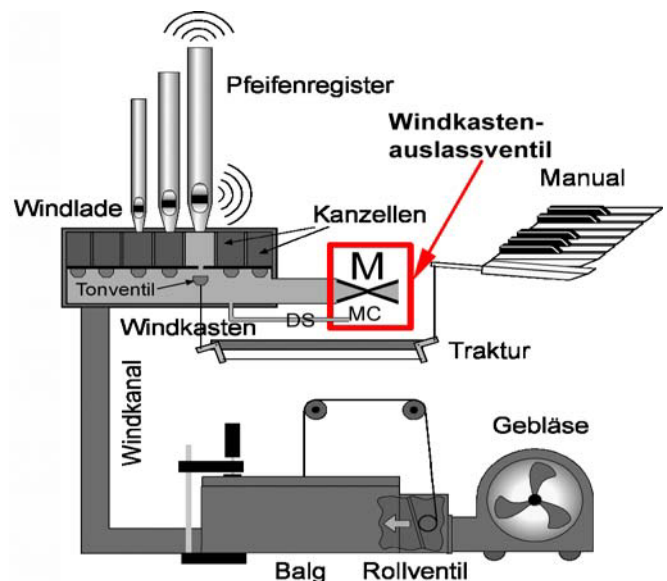


Abbildung 1: Konventionelles Windsystem mit Windkasten Auslassventil und mit zusätzlichen Gewichten deaktivierten Balg.

Entwurf einer Fuzzy Logic Regelung

Ein großer Vorteil von Fuzzy Logic Reglern im Gegensatz zu konventionellen (z.B. PID Regler) ist, dass beim Reglerentwurf die Strecke nicht als mathematisches Modell vorliegen muss [3]. Allerdings ist ein Expertenwissen (Erfahrungen mit dem zu regelnden Prozess) nötig das über zu formulierende „Regeln“ in den Fuzzy Regler einfließt. Abb. 2 zeigt die im Controller implementierten Zugehörigkeitsfunktionen für den Eingang (Fuzzifizierung) mit der linguistischen Variablen „Druckabfall“ und dem

Ausgang (Defuzzifizierung), beschrieben durch die Variable „Position“. Der vom Drucksensor gemessene Wert wird bei der Fuzzifizierung den linguistischen Werten (maximal, hoch...) zugeordnet. Der Erfüllungsgrad der einzelnen Zugehörigkeitsfunktionen (Trapez Form) mit einer Zugehörigkeit in Prozent angegeben. Mit diesen Werten werden die aufgestellten Regeln (Inferenz) ausgewertet und aktiviert. Diese stellen in der Regelungstechnik Handlungsanweisungen dar wie z.B. „WENN der Windverbrauch **maximal** ist **DANN** soll der Motor die Ventilauslassfläche ganz **zu** machen. Die weiteren linguistischen Werte der Variablen Windverbrauch und Position wurden in gleicher Form mit „WENN-DANN-Regeln“ miteinander verknüpft. Insgesamt wurden in der Regelbasis 5 Regeln aufgestellt.

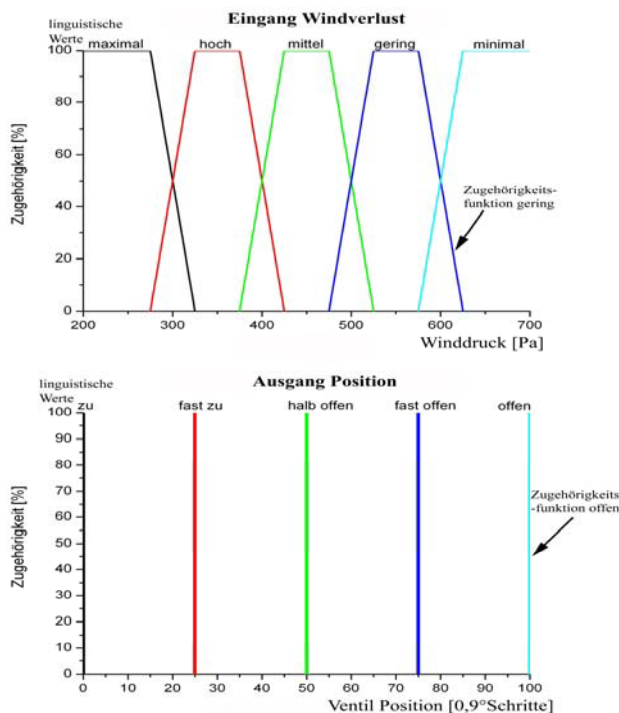


Abbildung 2: Zugehörigkeitsfunktionen (fuzzy sets) der linguistischen Variablen Windverlust und Position mit ihren linguistischen Werten

Die Regelauswertung liefert eine unscharfe Menge der linguistischen Variablen Druckabfall. Im letzten Schritt dieses Ablaufs (Defuzzifizierung) wird aus der unscharfen Menge ein scharfer Wert für die Stellgröße ermittelt. Dabei wird ein Mittelwert aus den Zugehörigkeitsgraden bestimmt.

Messungen

Das Auslassventil wurde an einem neuartigen Windsystem im Labor des Fraunhofer Instituts für Bauphysik auf seine Funktionsweise überprüft. Dieses Windsystem besitzt keinen Balg, so dass bei ausgeschaltetem Windkastenauslassventil keine Druckregelung erfolgt. Die **Abb. 3b, c** zeigen die mit den Einstellungen „normal“ und „langsam“ gemessenen Druckverläufe. In beiden Fällen wurde der ohne Regelung auftretende Druckabfall (**Abb. 3a**) vollständig ausgeglichen. Ebenfalls ließen sich der langsame Druckanstieg beim „langsamen“ Wind und die Abdämpfung der Druck-

schwingungen beim „normalen“ Wind sehr gut umsetzen. Die Ausgleichszeit ist mit ca. 0,3 s relativ lange, was durch einen schnelleren Motor noch verbessert werden könnte.

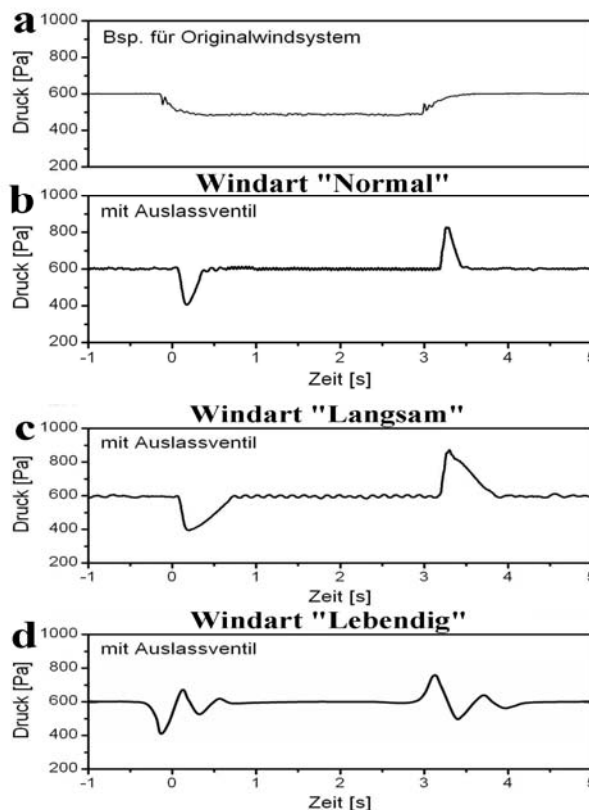


Abbildung 3: Regelung mit el. Auslassventil am Windkasten. a: Bsp. ohne Regelung, b: Messung Windart „Normal“, c: Messung Windart „Langsam“ und d: Bsp. für die Windart „Lebendig“.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch den Einsatz eines mit Fuzzy-Logic geregelten Auslassventils lassen sich in einem Orgelwindsystem verschiedene Druckcharakteristiken („normal“, „langsam“) einstellen. Der beim Spielen auftretende stationäre Druckabfall im Windkasten kann sehr gut ausgeglichen werden. Durch den Einsatz eines schnelleren Motors könnte die Druckausgleichszeit noch verkürzt werden. Eine weitere wünschenswerte Einstellung wäre der „lebendige“ Wind (**Abb. 3d**), d.h. Druckschwingungen werden kontrolliert zugelassen. Diese Windcharakteristik wird von manchen Orgelbauern bevorzugt, da das Einsetzen des Pfeifenklanges sehr gut hörbar ist. Die Umsetzbarkeit dieser Einstellung muss durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

Literatur

- [1] Pitsch, S.: Entwicklung von neuartigen offenen Windsystemen für Kirchenorgeln. Dissertation Uni Siegen (2005).
- [2] S. Pitsch, M. Schaupp, J. Angster, A. Miklós: Einfluss neuartiger Windsysteme auf den Klang von Kirchenorgeln, IBP Mitteilung 444 (2004)
- [3] Wendt, L.: Taschenbuch der Regelungstechnik, 5. erweiterte Auflage 2003, Verlag Harri Deutsch