

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 111 (1993)  
**Heft:** 40

**Artikel:** Neuartiges Ventil: Luftdrucksteuerung in einem EMPA-Prüfstand für statische und dynamische Luftdruckbelastungen  
**Autor:** Laube, René  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78252>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

tors (Nassspritzverfahren) vorliegt, welche im Kasteninnern aber genügt (geringe Feuchtigkeit).

### Kosten

Bedingt durch die schwierigen Verhältnisse und einzurechnenden Entwicklungskosten ergab sich ein Quadratmeterpreis für die Instandsetzung der Kastenwände von ca. Fr. 850.-. Diese Kosten sind bei grossflächigen umfangrei-

chen Schäden zu vertreten. Kleinere Schäden sollten nach wie vor manuell instandgesetzt werden.

Lukas Abt, René Czechowski, Basel

Adressen der Verfasser: Kapitel: Ausgangslage, Beurteilung: L. Abt und R. Czechowski c/o Schmidt + Partner, Bauingenieure AG, Basel/Bottmingen; Kapitel: Wasserhöchst- druckstrahlen: J. Kägi, c/o Locher & Cie. AG, Zürich; Kapitel: Spritzmörtelauftrag: D. Merz, c/o Ing. Greuter AG, Hochfelden.

### Liste der Beteiligten

Bauherr und Oberbauleitung: Tiefbauamt BL, Abt. Ausbau und Unterhalt

Gesamtbauleitung: Aegerter & Boss- hardt AG

Projektverfasser und örtliche Bauleitung: Schmidt + Partner, Bauingenieure AG

Bauunternehmung: Spaini Bau AG

Unterakkordant: Locher & Cie. AG, Ing. Greuter AG

## Neuartiges Ventil

Luftdrucksteuerung in einem EMPA-Prüfstand für statische und dynamische Luftdruckbelastungen

**Der Prüfstand wurde für erweiterte Anforderungen umgebaut und ein in der EMPA entwickeltes Steuerventil eingebaut, welches an mechanisch beweglichen Teilen nur ein Schwenkrohr, einen Zahnriemen und einen Schrittmotor aufweist. Die Steuerung des Ventils erfolgt elektronisch mit einem Computer. Durch diese automatische Steuerung von Luftstrom und Luftdruck in einem weiten Bereich sind nun auch dynamische Prüfungen möglich.**

Mit dem Prüfstand lassen sich Fenster und andere Prüfobjekte, z.B. Fassadenelemente, bis 4.9 x 3.5 m Grösse unter verschiedenen Druck- und Sogbedin-

VON RENÉ LAUBE,  
DÜBENDORF

gungen prüfen, wobei das Prüfobjekt auch beregnet werden kann, so dass beispielsweise folgende Aspekte geprüft werden können:

- Luftdurchlässigkeit
- Schlagregensicherheit
- Deformationen
- Drucksicherheit.

Das Prüfobjekt wird an einem Prüfkasten mit Luft einseitig unter Druck oder Sog gesetzt, um beispielsweise Winddrücke, Windböen und Winddrehungen an Häusern zu simulieren.

Durch einen Umbau wurde der Druckbereich des Prüfstandes auf -3000 Pa bis +3000 Pa - in den Sogbereich - erweitert sowie das Pulsieren als dynamische Beanspruchung des Prüfobjektes zwischen zwei beliebigen Drücken mit digital einstellbaren Druckflankenzeiten möglich. Zusätzlich wurde die digitale Drucksollwerteingabe, die selbsttätige Regelung des Druckes bei Druckstufen

und der beiden Drücke beim Pulsieren, z.B. bei ändernder Luftdurchlässigkeit des Prüfobjektes während eines Versuchs, die integrierte Datenerfassung des Druckes und bei Bedarf parallel dazu des Luftstromes (bis 500 m<sup>3</sup>/h bidirektional, d.h. für Druck und Sog) eingeführt.

Das nachfolgend beschriebene Steuerventil für den Druck wurde durch die EMPA von Grund auf konzipiert und in die neue Steuerung des Prüfstandes integriert.

### Luftversorgung, Steuerventil

Ein Ventilator mit einer einstellbaren, konstanten Drehzahl erzeugt den Luftdruck. Durch die Einstellung werden der maximal mögliche Druck und Sog während einer Prüfung begrenzt.

Das Steuerventil (Bild 1) weist auf der oberen Seite einen Druck- und einen Sogstutzen auf, die beide über Luftleitungen am Ventilator angeschlossen sind. Alle vom Ventilator transportierte Luft kommt und geht zum Steuerventil. Auf der unteren Seite ist der Prüfkasten über eine Luftstrommessstrecke angeschlossen, wobei der Luftstrom je nach Druck oder Sog in der einen oder anderen Richtung fliesst.

Dazwischen schwenkt ein Rohr in einem Bereich von  $\pm 90^\circ$  mehr oder weniger in den Bereich des Druckstutzens oder des Sogstutzens ein. Dadurch wird eine feine Regulierung des Druckes zwischen Null und dem eingestellten max. Druck vom Ventilator sowie auch die Umschaltung des Prüfkastens von Druck auf Sog ermöglicht. Ein Schrittmotor positioniert über einen Zahnriemen das Schwenkrohr an der berechneten Stelle mit einer Auflösung von mehr als 4000 Schritten, wobei der Computer die Sollwerte über eine serielle Schnittstelle an die Schrittmotorsteuerung sendet. Die Schwenkgeschwindigkeit und

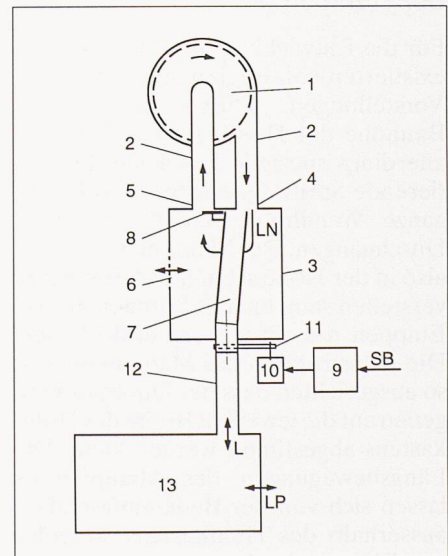


Bild 1. Luftversorgung, Steuerventil. Legende: 1 - Ventilator, 2 - Luftleitungen, 3 - Steuerventil mit: 4 - Druckstutzen, 5 - Sogstutzen, 6 - Luftein-/austritt, 7 - Schwenkrohr, 8 - Ventilatscheibe Sogseite, 9 - Schrittmotorsteuerung, 10 - Schrittmotor, 11 - Zahnriemen; 12 - Luftstrommessstrecke, 13 - Prüfkasten, L - Luftstrom, LN - Nebenluftstrom, LP - Luftdurchlässigkeit des Prüfobjektes, SB - Digitale Steuerbefehle

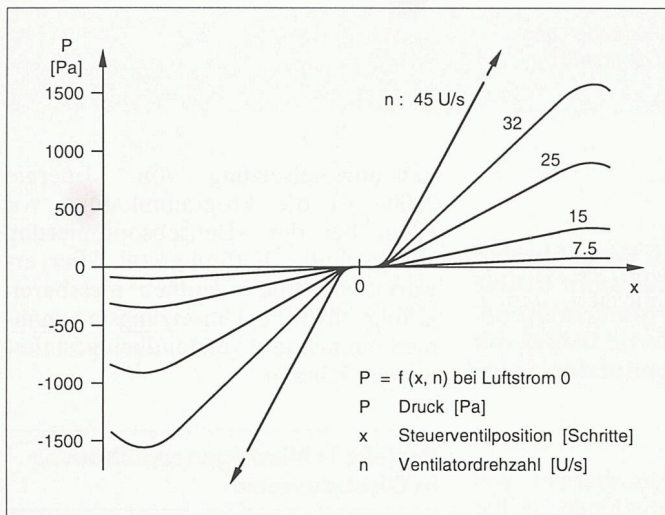


Bild 2. Steuerventilcharakteristiken (SVC)

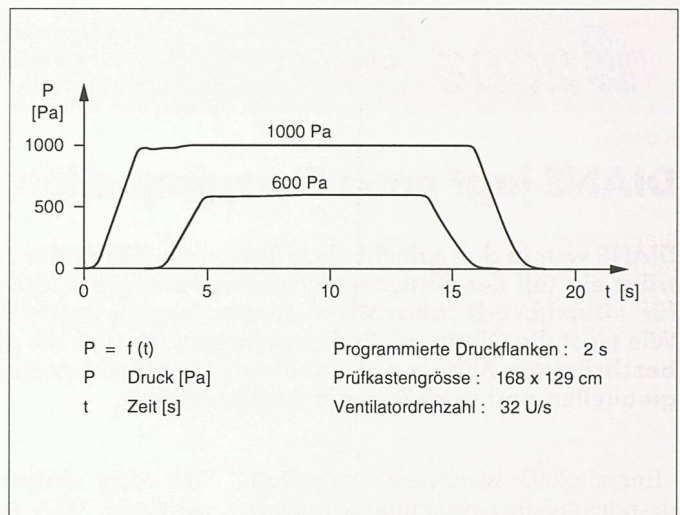


Bild 3. Druckpulse

dementsprechend auch die Druckflankenzeit kann im weiten Bereich von 32-7000 Schritte/s variiert werden. Der Ausgleich für die durch das Prüfobjekt durchgelassene Luft erfolgt durch ein Schutzgitter in der Verschalung des Steuerventils.

Ist das Schwenkrohr in der Nullstellung (in der Mitte), so ist das Steuerventil geschlossen und der Druck im Prüfkasten Null. Damit würde sich ein sehr grosser Nebenluftstrom LN vom Druckstutzen zum Sogstutzen entwickeln, wenn nicht ein Paar Ventilscheiben (in Bild 1 ist nur die Ventilscheibe für die Sogseite eingezeichnet) beidseitig am Schwenkrohr montiert, den Druck- und den Sogstutzen abdecken würde. Diese reduzieren den Energiebedarf für den Ventilator, die Geräuschentwicklung und die Luft erwärmung stark.

Andererseits ist ein gewisser Nebenluftstrom LN bei teilweise geöffnetem Steuerventil nötig, um eine kontinuierliche Druckdurchsteuerung zu erreichen. – Würde bei teilweise eingeschwenktem Schwenkrohr die restliche Fläche des gegenüberliegenden Stutzens durch eine Ventilscheibe ganz abgedeckt, so wäre  $LN = 0$ , und über einen weiten Bereich der Schwenkrohrbewegung würde annähernd der max. Druck aus dem Steuerventil abgegeben. – Die Steuerventilcharakteristik wird mittels passenden Formen der beiden Ventilscheiben linearisiert, wobei die beiden Formen wegen unterschiedlichen Verhältnissen zwischen Druck und Sog nicht gleich sind.

Die Initialisierung des Steuerventils erfolgt automatisch durch ein Computerprogramm, dabei wird eine Umdrehung des Schwenkrohrs ausgeführt, damit der Zahnriemen über einen längeren

Zeitraum gleichmässig beansprucht wird. Ein autom. Beschleunigungstest mit erhöhter Beschleunigung gegenüber dem nachfolgenden Betrieb gibt Sicherheit gegen Schrittverluste infolge mechanischer Überlastung des Schrittmotors. Ein Ende eines Referenzsegmentes am Schwenkrohr liefert zusammen mit einem berührungslosen Näherungsinitiator die Nullposition des Schwenkrohrs am Schluss der Initialisierung.

### Steuerventilcharakteristiken und Drucksteuerung

Eine Steuerventilcharakteristik (SVC) zeigt den Druck P in Funktion der Steuerventilposition x mit der Ventilardrehzahl n und dem Luftstrom als Parameter. In Bild 2 sind einige SVC für verschiedene Ventilardrehzahlen bei Luftstrom Null dargestellt. Die SVC sind ähnlich und sehr linear, was gestattet, mit relativ einfachen linearen Steuercharakteristiken als Näherung an die SVC das Ventil zu steuern. In der Regel wird das Steuerventil nur in den linearen Teilen der SVC und über den Nullpunkt hinweg betrieben. Bei üblichen Luftdurchlässigkeiten von Fenstern verlaufen die linearen Teile der zugehörigen SVC weitgehend parallel zu den linearen Teilen der SVC bei Luftstrom Null.

Um einen bestimmten Solldruck zu erreichen, wird zuerst die momentane Ventilardrehzahl gemessen und über die Steuercharakteristik (bestimmt durch die Drehzahl) die Steuerventilöffnung x berechnet. – Diese Berechnung ist nur einfach, da die SVC, wie vorerwähnt, zueinander ähnlich sind. – Aus der verlangten Druckflankenzeit

und dem Steuerventilweg wird die Schrittfrequenz berechnet und zusammen mit x als Steuerbefehle an die Schrittmotorsteuerung gegeben. Nach einer Druckeinstellung wird der Druck, wenn nötig, nachgeregelt.

Die beiden linearen SVC-Teile im Druck und Sog zusammen können in 0.7 bis 110 s in einem Zug voll durchgesteuert werden. Für einen Teilbereich davon können noch wesentlich schnellere Druckflankenzeiten ablaufen.

Bild 3 zeigt zwei verschiedene Druckpulse bei gleicher Ventilardrehzahl, programmierten Druckflanken von 2 s und mittlerer Prüfkastengrösse. Die Flanken sind über einen weiten Bereich linear.

### Schlussbetrachtung

Das Steuerventil mit der Elektronik, ein Beispiel der Mechatronik, ist seit zwei Jahren in Betrieb. Die Erprobung brachte sehr gute Resultate, variieren die Betriebsparameter doch in weiten Bereichen: geregelter Druck 5 Pa (bis jetzt kleinster Prüfdruck) bis  $\pm 3000$  Pa, Luftströme 0.4 bis 500  $m^3/h$  und mehr, Prüfkastenvolumen 0.4 bis 10  $m^3$ . Die Umschaltung des Prüfkastens von Druck auf Sog und Druckflanken können in deutlich weniger als 1 s ablaufen. Durch Pulsieren des Luftdrucks werden nun auch dynamische Prüfungen ermöglicht.

Adresse des Verfassers: René Laube, Abt. Elektronik/Messtechnik, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), 8600 Dübendorf.