

Hubmessung an thermostatischen Expansionsventilen zur Untersuchung des dynamischen Dämpfungsverhaltens

Dipl.-Ing J. Aguilar¹

1 Einleitung

Das thermostatische Expansionsventil (TXV) ist ein druckgesteuertes, temperaturregelndes Drosselorgan. Der Aufbau und die Wirkungsweise können unten anderem in [1] nachgelesen werden.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Untersuchung des dynamischen Dämpfungsverhaltens von TXV, vor allem während der Fahrzeugabkühlung. Zu diesem Zweck wurde eine Wegmesseinrichtung konzipiert, mit deren Hilfe die Bewegung des Schließkörpers während der Fahrzeugabkühlung aufgezeichnet werden kann. Mit dieser Einrichtung ist es somit möglich, Stabilitäts- bzw. Schwingungsanalysen des Verdampfer-TXV-Systems durchzuführen.

2 Das thermostatische Expansionsventil und sein Regelkreislauf

Grundsätzlich kann die Beschreibung eines TXV auf zwei Stellglieder reduziert werden: erstens auf die Steuerfüllung (SF) im so genannten Thermokopf (TK) und zweitens auf den Federmechanismus (s. Abbildung 1).

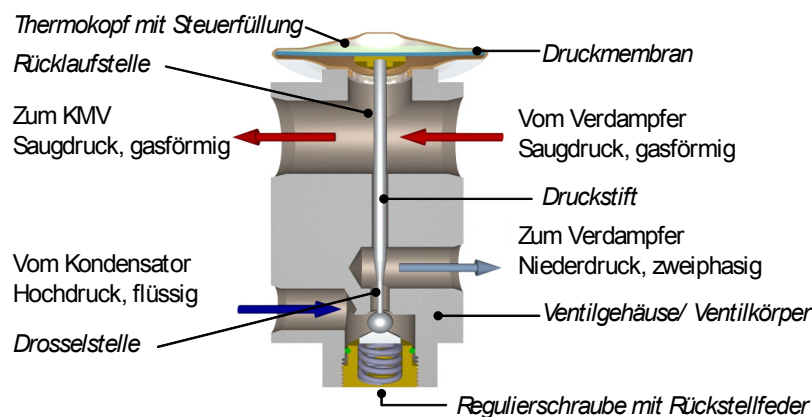


Abbildung 1: Schnittdarstellung TXV

Hierbei entspricht der vom Verdampfer kommende Kältemitteldruck (p_{VA}) der Steuergröße, die an der Rücklaufstelle herrschende Temperatur (T_{VA}) der Regelgröße des Ventils. Die Steuerfüllung im Thermokopf reagiert auf diese Temperatur und erzeugt den Steuerfüllungsdruck, der auf die Druckmembran wirkt. Aus der Druckdifferenz zwischen dem Steuerfüllungsdruck und dem Kältemitteldruck p_{VA} ergibt sich an der Druckmembran die Rückführungsgröße des Regelkreises, die gegen die als Sollwert für den gesamten Regelkreis dienende Federvorspannung (Setting) agiert und als Regeldifferenz die Stellgröße beeinflusst (siehe Abbildung 2). Als Stellgröße dieses Regelkreises dient der Ventilhub, welcher den Öffnungsquerschnitt der Drosselstelle und somit den Massenstrom (in Abhängigkeit der Kältemittelleigenschaften T_{VE} und p_{VE} an der Drosselstelle) bestimmt.

Unter der Annahme, dass der Verdampferaustrittsdruck in erster Linie vom Kältemittelverdichter bestimmt wird, definieren die Umgebungsbedingungen am Verdampfer gemeinsam

¹ Otto Egelhof GmbH, Stuttgarterstr. 60, 70735 Fellbach

mit dem Massenstrom des Ventils die Kälteleistung. Somit wird die Kältemitteltemperatur am Verdampferausgang bzw. dessen Überhitzung in Abhängigkeit des vorliegenden Verdampfungsdrucks indirekt geregelt. Damit ist der Regelkreis geschlossen.

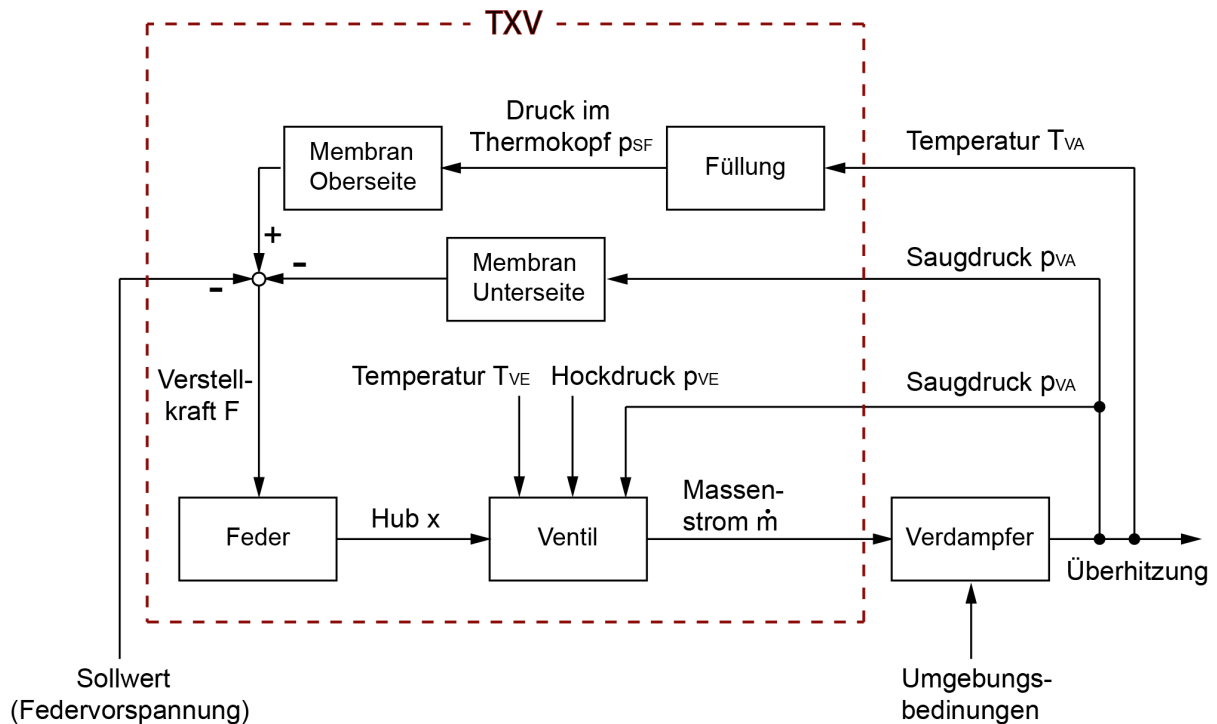


Abbildung 2: Regelkreis des Systems TXV-Verdampfer

Wenn jedoch eine Störung innerhalb des Kältekreislaufes bzw. bei den Betriebsbedingungen auftritt, kann das System unter Umständen in Resonanz geraten, vor allem dann, wenn die mittlere Frequenz der Störung im Bereich der Eigenfrequenz des Kältekreislaufs liegt.

Innerhalb des Kreislaufes können Störungen z.B. entstehen, wenn durch den Massenverlagerungsprozess im System Druckschwankungen auf der Niederdruckseite entstehen, oder wenn durch unvollständiges Kondensieren des Kältemittels die Kältemitteldichte am Ventileneingang stark variiert.

Aus strömungstechnischer Sicht kann aber auch das TXV in Schwingung geraten, wenn es in Bereiche kleiner Hubwerte regeln muss. In der Nähe der Drosselstelle treten unter anderem Impulskräfte auf, die den Schließkörper schlagartig gegen den Ventilsitz ziehen können. Dieses kann das System zum Schwingen anregen. Dieses Thema haben mehrere Autoren ausführlich behandelt, wie z. B. [2], [3].

3 Experimentelle Untersuchung von Schwingungserscheinungen und Ursachenbestimmung mit Hilfe einer Wegmessvorrichtung zur dynamischen Aufzeichnung des Ventilhubes

In einem Klimawarmkanal wurde der Abkühlvorgang eines Fahrzeugs untersucht. Hierbei wurde der dynamisch Ventilhub mit einer besonderen Wegmessvorrichtung registriert. Diese Vorrichtung diente dazu, zu überprüfen, ob die Entstehung von Systemschwingungen am TXV detektiert werden kann.

Der hierfür verwendete Wegaufnehmer und die Adaption an das Ventil, die speziell für dieses Vorhaben konzipiert wurde, werden in Abbildung 3 gezeigt. Der Wegaufnehmer besitzt

einen Messbereich von (0) bis 1000 μm und eine Genauigkeit von 10 μm . Das untersuchte TXV besitzt einen Maximalhubwert von ca. 620 μm .

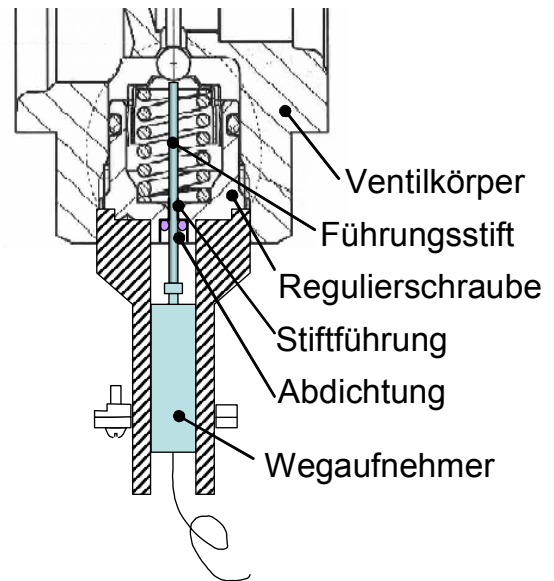
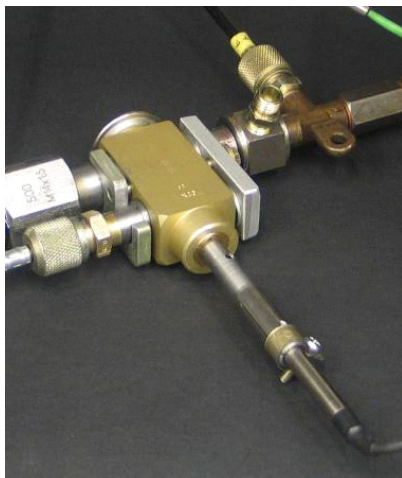


Abbildung 3: Wegaufnehmer zur Ventilhubmessung

Bei der Auswahl des Wegaufnehmers und seiner Adaption an das Ventil wurde außerdem darauf geachtet, dass

- der Führungsstift und seine Führungsbohrung eine besonders gute Oberflächenbeschaffenheit aufweisen, damit keine zusätzliche Reibung an der Führungsstelle bzw. an den O-Ringen entsteht,
- der Führungsstiftsdurchmesser möglichst klein ausfällt, um die Druckübertragung auf den Sensor zu minimieren und dass
- der Wegaufnehmer eine kleine Federkonstante aufweist, damit das Verhalten des TXV möglichst wenig beeinflusst wird.

Die serienmäßige Einstellung des Ventils wurde durch die vorgenommenen Maßnahmen nur unwesentlich beeinflusst. Sie wurden vor dem Einbau des TXV ins Fahrzeug auf einem Einstellprüfstand der Fa. Egelhof erneut überprüft.

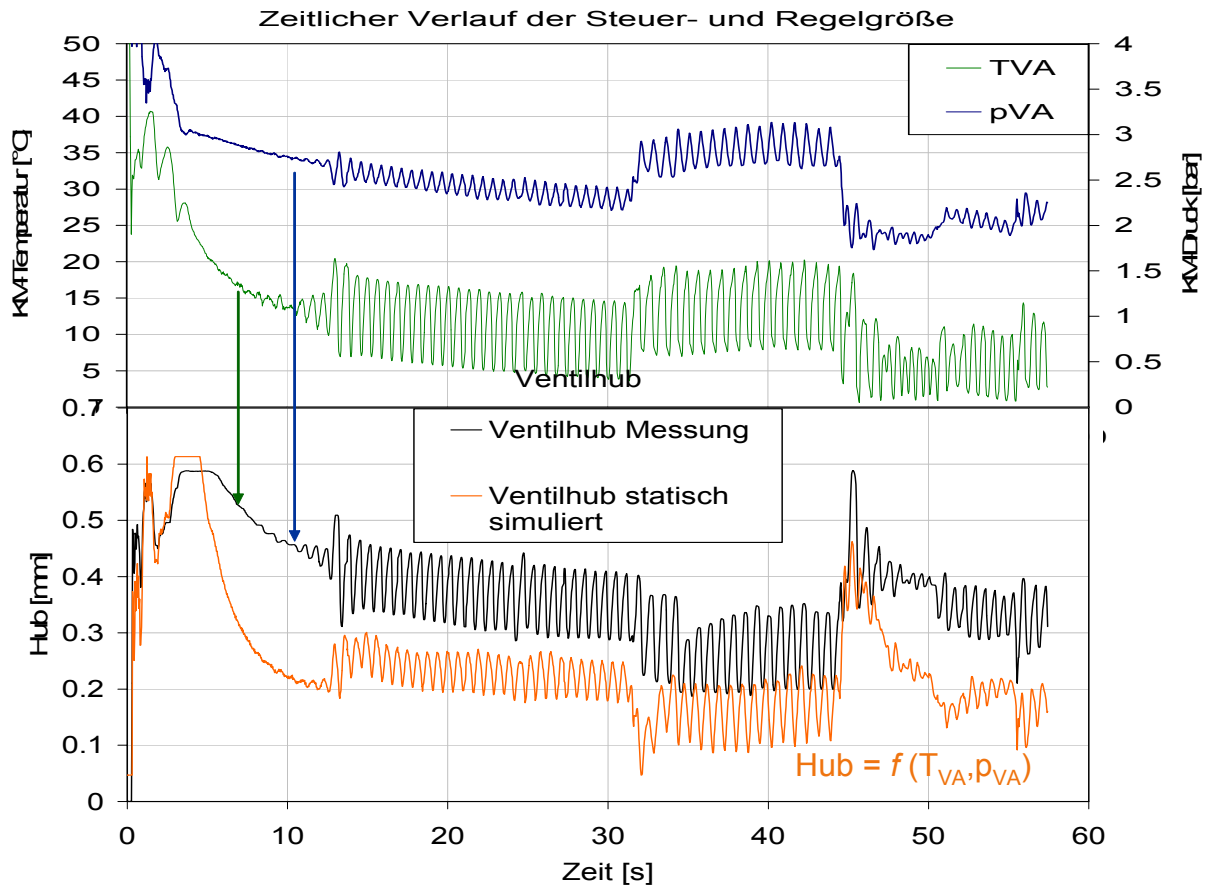


Abbildung 4: Experimentelle Daten

Die dieser Untersuchung zu Grunde liegenden Messdaten werden in Abbildung 4 gezeigt.

Hieraus können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die Regelgröße (T_{VA}) fängt als erste Größe zu schwingen an, die Auswirkung auf das System wird aber durch das TXV gedämpft (grüner Pfeil in Abbildung 4).
- Die Steuergröße (p_{VA}) fängt etwas später an zu schwingen. Da das TXV keine mechanischen Dämpfungselemente aufweist, kann diese Schwingung nicht abgedämpft werden. Seine Auswirkung überträgt sich direkt auf das Ventilverhalten und das System gerät in Resonanz (blauer Pfeil in Abbildung 4).
- Diese Resonanz findet auf einem hohen Ventilhubniveau (zwischen 50 % und 70 % des gesamten Hubarbeitsbereichs) statt. Das heißt, die in [4] als minimale Hubkennlinie bezeichnete untere stabile Grenze des Ventilhubbereichs wird nicht unterschritten und das Ventil kann als angeregtes Feder-Masse-System angesehen werden.

Bei dieser Untersuchung wurde außerdem versucht, die gewonnenen Erkenntnisse durch quasi-stationäre Simulationsrechnungen zu unterstützen. Hierfür wurde die statische Kräftebilanz am Ventilkörper aufgestellt und der statische Ventilhub in Abhängigkeit von T_{VA} und p_{VA} berechnet. Während die allgemeine zeitliche Tendenz wiedergegeben werden konnte, wurde die absolute Lage des simulierten Ventilhubes verfehlt (s. Abbildung 4). Um den genauen Hubverlauf wiedergeben zu können, müssten die wärmeleitenden Eigenschaften des Ventils berücksichtigt werden, d. h. transiente Simulationsansätze müssten verfolgt werden.

4 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die Hubmessung am TXV ist im Fahrzeug., ohne dass das allgemeine Arbeitsverhalten des TXV wesentlich beeinträchtigt wird, möglich und kann u. a. zur Schwingungsuntersuchung angewandt werden.
- Dadurch kann gezeigt werden, wann das TXV durch Einflüsse des Kältemittel-Kreislaufs angeregt wird und wann es Anreger der Schwingung ist – d. h. seine minimale Hubkennlinie unterschreitet.
- Eine Online-Bestimmung des Ventilhubes ist durch die Verwendung der Eingangsgrößen T_{VA} und p_{VA} aufgrund des unberücksichtigten transienten Einflusses der Wärmeleitung in den Thermokopf nicht möglich.
- Fa. Egelhof kann bei Anfrage solche Messtechnik applizieren und technischen Support anbieten.

5 Literatur

- [1] J. Aguilar, R. Cäsar, J. Köhler, W. Tegethoff, C. Tischendorf: Zur Modellierung von thermostatischen Expansionsventilen. DKV-Tagung 2005, Bd. II.1.18
- [2] B. Hamery, J. M. Liu and C. Riviere: Instabilities occurring in an automotive A/C loop equipped with an externally controlled compressor and a thermal expansion valve. January 2001, SAE
- [3] P. Mithraratne, N. E. Wijesundera: An experimental and numerical study of hunting in thermostatic-expansion-valve-controlled evaporators. IJR 25. S. 992 - 998, 2002
- [4] J. Aguilar, M. Braun, D. Limperich: Eine neuartige Darstellungsform des Regelbereichs eines thermostatischen Expansionsventils. Ki 4/2006.