

# **EURISG**

## **European Industrial Sizing Group**

EURISG Sizing Case Report

**ESC\_102**

Stand: **05.04.2016**

Berechnung von Massenstrom und Druckabfall in einer Sicherheitsventil-Abblaseleitung bei der Notentlastung von siedendem Aceton unter Berücksichtigung des Siedeverzugs

CSE - ENGINEERING CENTER OF SAFETY EXCELLENCE GMBH MIT SITZ IN PFINZTAL

GESCHÄFTSFÜHRER:  
Prof. Dr. Jürgen Schmidt  
Prof. Dr. Jens Denecke

HRB NR. 722490  
Amtsgericht Mannheim  
Umsatzsteuer-ID: DE300689965

DEUTSCHE BANK IN NEUSTADT  
IBAN DE41 5467 0024 0033 6164 00  
BIC DEUTDEDB546

## Inhaltsverzeichnis

<b>Revisionen.....</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Aufgabenstellung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Testdaten und Referenzen .....</b>	<b>7</b>
<b>3 Herangehensweise.....</b>	<b>7</b>
3.1 Verfahrenstechnische Randbedingungen .....	7
3.1.1 Behälter.....	7
3.1.2 Sicherheitsventil .....	7
3.1.3 Medium .....	8
3.1.4 Umgebungsbedingungen   Standortdaten.....	8
3.2 Geometrische Abmessungen der Sicherheitsventil-Abblaseleitung .....	9
3.2.1 Behälter und Stutzen.....	9
3.2.2 Zuleitung .....	9
3.2.3 Sicherheitsventil .....	9
3.2.4 Abblaseleitung .....	10
3.3 Stoffdaten.....	11
3.3.1 Thermodynamisch kritische Daten   reduzierte Daten .....	11
3.3.2 Bewertung der realen Eigenschaften des Acetons .....	13
3.3.3 Stoffdatenmodelle .....	13
3.3.4 Phasenverteilung bei der Notentlastung .....	14
3.4 Auslegungsfall   Sizing Case.....	14
3.5 Auslegungsrechnung .....	14
3.5.1 Bestimmung des nach den Regelwerken zuerkannten Massenstroms des Sicherheitsventils.....	16
3.5.2 Bestimmung des zuerkannten Massenstroms des Gesamtsystems.....	16
3.5.2.1 Annahmen und Vereinfachungen.....	17
3.5.2.2 Auswahl des Modells für das Sicherheitsventil.....	17
3.5.2.3 Ausflussziffer für Zweiphasenströmungen .....	19
3.5.2.4 Auswahl des Modells für den Reaktorstutzen .....	20
3.5.2.5 Auswahl des Modells für die Leitung .....	21
3.5.2.6 Lösungsstrategie .....	22
3.5.3 Abführbarer Massenstrom des Gesamtsystems und Druckabfall im Sicherheitsventil-Abblaseleitungssystem .....	23
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>23</b>
4.1 Ergebnisse der Berechnung nach dem HNE-Modell .....	24

4.2	Vergleich der Strömungsmodelle HNE mit HEM .....	26
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Lessons learned .....</b>	<b>30</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>32</b>
	<b>Anlagen .....</b>	<b>35</b>
<b>A</b>	<b>Symbole und Einheiten .....</b>	<b>35</b>
<b>B</b>	<b>Reibungsdruckverlust in den Rohrleitungen .....</b>	<b>39</b>
B.1	Betrachtung des Rohrreibungsbeiwertes .....	39
B.2	Bestimmung des Reibungsdruckabfalles bei Zweiphasenströmung in geraden Rohrleitungen .....	40
B.3	Bestimmung des Beschleunigungsdruckabfalles bei Zweiphasenströmung in geraden Rohrleitungen .....	42
<b>C</b>	<b>Bestimmung der energiegemittelten Dichte .....</b>	<b>42</b>
<b>D</b>	<b>Beschreibung des HNE-CSE Modells .....</b>	<b>43</b>
<b>E</b>	<b>Verknüpfung des HNE-CSE Modells mit dem Druckverlust in Rohrleitungen .....</b>	<b>45</b>
<b>F</b>	<b>Massenstrom durch das Sicherheitsventil .....</b>	<b>45</b>
<b>G</b>	<b>Stoffdaten .....</b>	<b>46</b>
<b>H</b>	<b>Numerische Vorgehensweise .....</b>	<b>54</b>
H.1	Initialer Massenstrom .....	54
H.2	Behälter - Zustand „0“ .....	55
H.3	Stutzen - Zustandsänderung „0“-„1“ .....	55
H.4	Zuleitung - Zustandsänderung „1“-„in“ .....	55
H.5	Abblaseleitung - Zustandsänderung „out“-„2“ .....	55
H.6	Identifikation kritischer Strömung in Rohrleitungen .....	56
H.7	Iterative Berechnung des Massenstroms .....	56
<b>I</b>	<b>Weitere Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>56</b>

## 1 Aufgabenstellung

In der chemischen und pharmazeutischen Industrie werden häufig Vielzweckanlagen eingesetzt (Multipurpose Plants), in denen Reaktionen in Lösungsmitteln gefahren werden. Die Behälter sind typischerweise mit Sicherheitsventilen abgesichert. Je nach Füllgrad des Behälters beim Ansprechen des Sicherheitsventils wird bei einer Notentlastung reiner Dampf, ein Gemisch aus Dampf und Flüssigkeit, unterkühlte oder siedende Flüssigkeit entlastet.

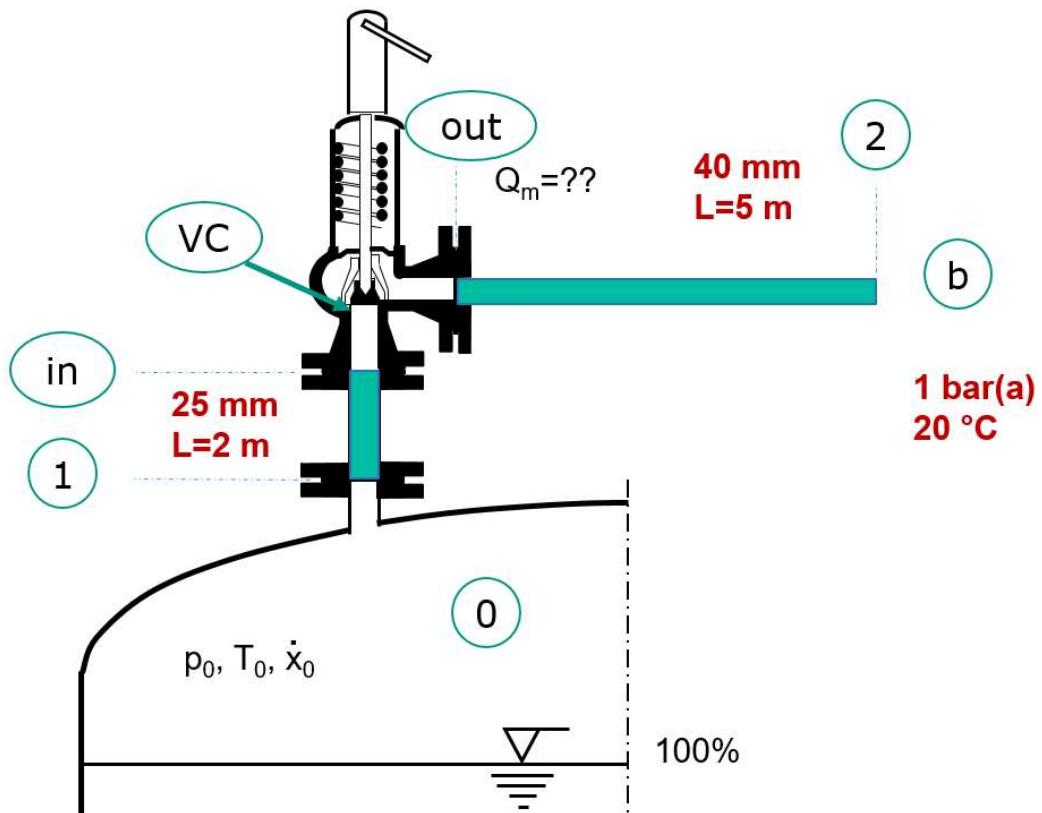
In diesem Report wird vereinfachend angenommen, dass bei voll geöffnetem Sicherheitsventil siedendes Aceton (Flüssigkeit) in die Sicherheitsventil-Abblaseleitung eines Reaktors eintritt. Die Berechnungen des Aufwallverhaltens im Reaktor und des Strömungsmassengasgehalts am Eintritt der Leitung sind nicht Gegenstand dieser Berechnungen.

Es sollen der Massenstrom und der Druckabfall durch die Leitung mit den in **Tabelle 1-2** angegebenen Daten berechnet werden. Der Zustand im Behälter zu Beginn der Notentlastung und die Daten des Sicherheitsventils sind in **Tabelle 1-1** spezifiziert. Die geometrischen Abmessungen der Leitungen sowie die Umgebungsbedingungen sind in **Abbildung 1-1** gegeben. Alle erforderlichen Stoffdaten für die Berechnungen sind selbst zu bestimmen.

Anmerkung: Die Innendurchmesser sind vereinfacht mit 25 bzw. 40 mm festgesetzt worden, sie entsprechen nicht den Durchmessern der üblichen Rohrnennweiten DN 25 bzw. DN 40.

### Tabelle 1-1: Daten für die Berechnung

- |   |   |
|---|---|
| ▪ Berechnungsfall:  | Zweiphasenströmung, Reale Eigenschaften des Gemisches sind zu berücksichtigen |
| ▪ Medium:   | Aceton  |
| ▪ Stagnationsmassendampfgehalt $\dot{x}_0$ bei $p_0, T_0$ : | 0,0 %   |
| ▪ Sicherheitsventil Nennweite:                              | DN 25x40  |
| ▪ Abblasedruck $p_0$ :                                      | 20 bar (abs)  |
| ▪ Temperatur beim Abblasedruck $T_0$ :                      | 453,15 K (180,3 °C)   |
| ▪ Sitzdurchmesser des Ventils $d_{VC}$ :                    | 13 mm   |
| ▪ Zuerkannte Ausflussziffer $K_{dr,g}$ :                    | 0,72  |
| ▪ Zuerkannte Ausflussziffer $K_{dr,l}$ :                    | 0,72 (willkürlich gewählter Wert, üblicherweise kleiner als $K_{dr,g}$ )      |
| ▪ Abblasen in die Atmosphäre                                |   |



**Abbildung 1-1:** Aufbau der Abblaseleitung und Daten für die Berechnung der Ergebnisse im EUSRISG Sizing Case Report ESC\_102.

**Tabelle 1-2:**

ESC_102 (Gas/Flüssigkeitsströmung – reale Eigenschaften, HNE)					
Ort (vgl. <b>Abbildung 1-1</b> )	Totaldruck [bar abs]	Statischer Druck [bar abs]	Totaltemperatur [°C]	Statische Temperatur [°C]	Strömungsmassendampfgehalt [%]
0	20,00	20,00	180,3	180,3	0,0 %
in					
out					
2					
b					