

PC

**CD-
ROM**

Kamprath interaktiv

Hans-Jürgen Bullack

Berechnung von Sicherheits- einrichtungen

nach AD 2000
und Ergänzungen von 2002

 **VOGEL**

Berechnung von Sicherheitseinrichtungen

mit Sicherheitsventil oder Berstscheibe
nach AD 2000 und Ergänzungen von 2002

Inhaltsverzeichnis

1 Grundsätzliche Hinweise zu den Berechnungsmodulen	Seite 3
2 Verzeichnis der Berechnungsmodule	Seite 4
3 Systemvoraussetzungen	Seite 5
4 Programmstruktur	Seite 6
5 Stoffdaten und deren Programmeinbindung	Seite 7
6 Wichtige Hinweise zur Benutzung des Programms	Seite 7
7 Berechnungen mit dem "Solver"	Seite 9
8 Kommentierte Beispielberechnung mit dem Modul SV 01	Seite 10

1 Grundsätzliche Hinweise zu den Berechnungsmodulen

Die CD-ROM enthält Berechnungsmodulare zur Auslegung von Sicherheitseinrichtungen nach AD 2000 A1/A2 und den Ergänzungen von 02.2002. Im System sind Datenbanken thermophysikalischer und sicherheitstechnischer Daten sowie Kenngrößen wichtiger Armaturenhersteller in Tabellen und Diagrammen hinterlegt. Jede Berechnung ermöglicht die unmittelbare Beurteilung der Ergebnisse, die Veränderung der Eingabewerte und damit eine optimale Variantenbetrachtung. Durch die Systemdarstellung der Baugruppen und der verwendeten Formeln auf den Datenblättern ist die Konformität zu den gültigen Vorschriften erkennbar. Alle Berechnungsschritte und Ergebnisse lassen sich logisch nachvollziehen. Durch den Einsatz des Excel-Add-In-Programms "Solver" werden die Mehrvariablen-Gleichungen durch Iteration gelöst. Es werden damit Systemparameter berechnet, die sonst nur als Näherung interpretiert werden können.

Die Berechnung erfolgt in einem formatierten technischen Datenblatt und kann als Prüfdokument oder Projektbeleg ausgedruckt werden. Der Einsatz dieser Berechnungsmodulare in der Praxis setzt Fachkenntnisse des jeweiligen Arbeitsgebietes voraus. Die Berechnung selbst kann deshalb kein Ersatz für die verantwortungsvolle Interpretation eines Berechnungsergebnisses sein.

Die einzelnen Programmmodule wurden mit größter Sorgfalt erstellt, fachlich begutachtet und ausführlich geprüft und getestet. Es wurden zahlreiche Prüfberechnungen mit in der Praxis bewährten EDV-Programmen durchgeführt. Trotzdem können Softwarefehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autor können daher für fehlerhafte Lösungen und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Hinweise auf eventuelle Fehler oder Verbesserungen jeglicher Art werden dankbar entgegengenommen.

Die in dieser Form vorliegenden Berechnungsmodulare sind urheberrechtlich geschützt.

Fachliche Anfragen per E-Mail an:
info-berechnungsprogramm@web.de



2 Verzeichnis der Berechnungsmodule

1. Bemessung des Sicherheitsventils, der Zuleitung, der Ausblaseleitung, der Systemparameter und der Statik.
Bei brennbaren Gasen oder Dämpfen wird zusätzlich das Gefährdungspotential berechnet.

SV 01 Brennbar oder nichtbrennbare Gase oder Dämpfe

SV 02 Überhitzter Dampf

SV 03 Sattdampf

SV 04 Flüssigkeiten ohne Phasenumsetzung bei Entspannung

2. Bemessung der Berstscheibe, Bestimmung des zulässigen Massendurchsatzes, der Ausblaseleitung, der Systemparameter und der Statik.
Bei brennbaren Gasen oder Dämpfen wird zusätzlich das Gefährdungspotential berechnet.

Berst 01 Brennbar oder nichtbrennbare Gase oder Dämpfe

Berst 02 Überhitzter Dampf

3 Systemvoraussetzungen

Alle Berechnungsmodule sind nur im System **Microsoft EXCEL ab Version 97** zu nutzen. Bei allen Modulen wird das EXCEL-Add-In-Programm **“Solver”** für die Berechnungen eingesetzt.

Es errechnet Lösungen für Was-wäre-wenn-Szenarios auf der Grundlage von anpassbaren Zellen und Zellen mit Nebenbedingungen.

Bitte überprüfen Sie vorab, ob das Add-In-Programm **“Solver”** installiert und aktiviert ist. Hierzu finden Sie in Microsoft EXCEL unter **Extras – Add-In-Manager** eine Liste der installierten und aktivierten Add-In-Programme. Ist der **“Solver”** in der Liste der angezeigten Add-In-Programme nicht aufgeführt, wurde das Add-In nicht installiert.

Installation des **“Solvers”** unter EXCEL:

Klicken Sie im Menü **Extras** auf **Add-In-Manager**.

Wird **“Solver”** im Dialogfeld **“Verfügbare Add-Ins”** nicht aufgeführt, klicken Sie auf **“Durchsuchen...”**, und ermitteln Sie das Laufwerk, den Ordner und den Dateinamen des Add-Ins **“Solver.xla”**, das in der Regel im Ordner MakroSolver gespeichert ist. Können Sie die Datei nicht finden, führen Sie das EXCEL-Setup-Programm aus.

Aktivierung des **“Solvers”** unter EXCEL:

Klicken Sie hierzu unter **Extras – Add-In-Manager** im Dialogfeld **“Verfügbare Add-Ins”** das Kontrollkästchen **“Solver”** an. Der **“Solver”** ist aktiviert, wenn das Häkchen im Kontrollkästchen gesetzt ist.

Deaktivierung des EXCEL-Makrovirenschutzes:

Bitte überprüfen Sie unter **Extras – Optionen – Allgemein**, ob der Makrovirenschutz deaktiviert ist.

Ist im Kontrollkästchen **“Makrovirus-Schutz”** ein Häkchen gesetzt, sollte dieses durch Anklicken entfernt werden. Bleibt der Makrovirenschutz aktiv, folgt bei jedem Modulstart der Hinweis, dass Makros Viren enthalten können. Klicken Sie in diesem Fall auf den Schalter **“Makros aktivieren”**.

Damit sind alle Grundeinstellungen für die Nutzung der Berechnungsprogramme gegeben.

4 Programmstruktur

Wird die CD-ROM in das Laufwerk Ihres Rechners eingelegt, öffnet sich automatisch als Startfenster ein Inhaltsverzeichnis der Berechnungsmodule. Per Mausklick können die einzelnen Module von diesem Inhaltsverzeichnis aus als blanko Datenblätter aufgerufen werden.

Detailskizzen, Formeldarstellungen, Fehlerhinweise, Auswahllisten und erläuternde Kommentare unterstützen Sie bei der Dateneingabe und machen die Berechnungen und Ergebnisse transparent.

Nur in den gelb hinterlegten Eingabefeldern (einheitlich in Spalte "E" unter "Werte-Tabelle") können Berechnungsdaten eingetragen und korrigiert werden. Alle anderen Zellen sind gesperrt.

Eingabebedingungen schützen vor Fehleingaben

Hinweis auf Auswahlliste

Auswahllisten (als Dropdown-Menü) zum Abruf von Stoffdaten

1	Aufgabenstellung		Beispielrechnung	SV 01
2	Gefahrgutbereich			
3	Literatur, Quellen; weitere siehe roter Pfeil			
4	1) Goßlas / Dr. Weyl / Sonderdruck TÜV 4, Aufl. 95, Auslegung v. St.-Ventilen/ Berstschießen 2) W. Wagner: Sicherheitsarmaturen Vogel Buchverlag 1999.			
5	Beschreibe immer die Kormentexte in Zellen mit rotem Punkt			
6	Eingabezellen gelb: Medium aus Datenbank - oder manuell Zeile 11 wenn Benennung in Spalte D = rot, benutze in Eingabezeile E die Drop-Down-Liste			
7				
8	Benennung	Einheit	Formel / Zeichen	Werte - Tabelle
9	Betriebs- / Betreiberangaben		brennbare / nicht brennbare Gase, Dämpfe	
10	Gas, Dämpfe	=	Datenbank	Densität / Gas
11	oder wenn nicht in Datenbank		Eingabe manuell	Densität / Gas
12	Berechnungstemperatur	°C	$t \leq 0 \text{ °C}$	Dampf / Gas
13	zulässiger Betriebsüberdruck	bar	$p_{st} = p_{st} \Rightarrow 1$	Stoffname / C2 H6
14	Systemdruck beim Abblösen	bar (abs.)	$p_{st} = 1,1 \cdot p_{st} + 1$	Ethylbenzol / C2 H5 NH2
15	abszuleitender Massenstrom	kg / h	q_m	Ethylchlorid
16	oder Normvolumenstrom	Nm ³ / h	V_n	Ethylen / C2 H4
17	Fremdgegendruck außerhalb	bar (abs.)	$p_{st0} \leq p_{st} \Rightarrow p_{st0} \leq p_{st}$	Fluor / F2
18	Windgeschwindigkeit / kein Wind	m / s	$V_{win} \leq 0,2 \text{ m/s}$	
19				
20	Thermophysikalische und sicherheitstechnische Gaswerte			Datenbank
21	molare Masse	kg / kmol	M	46,069

Hinterlegte Stoffdaten

Hinterlegte Informationen per Mouse over

Optimale Benutzerführung: Die Eingabe von Werten ist nur in den gelben Eingabezellen (Spalte E) möglich und wird durch Kommentare bestätigt.

5 Stoffdaten und deren Programmeinbindung

Die Berechnungsmodule enthalten Datenbanken für Stoff- und Zustandsgrößen der zu berechnenden Medien der Datenbank. Diese Daten werden nach definierten Eingabebedingungen in die Berechnungszellen automatisch eingefügt.

Es wird darauf hingewiesen, dass bestimmte Parameter nur für konkret benannte Zustände verfügbar sind und deshalb geringe Abweichungen in der Folgerechnung auftreten können.

Diese Abweichungen sind für die hier geführte praktische Rechnung jedoch vernachlässigbar. Ist ein Stoff (Medium) nicht in der Datenbank aufgeführt, kann alternativ das zu berechnende Medium in die dafür vorgesehene Zeile eingegeben werden.

Die Bemessung eines Sicherheitsventils erfolgt nur über die zuerkannte Ausflussziffer des jeweils herstellenden Betriebes. Diese Daten wurden für ausgewählte Armaturen aus dem jeweils aktuellen Lieferprogramm der wichtigsten Hersteller übernommen, so dass es möglich ist, spezielle Ausflussziffern eines Herstellers einzusetzen.

Die Datenbanken können aus programmtechnischen Gründen vom Nutzer weder editiert noch erweitert werden. Es wird empfohlen, sich ggf. eine Zusatzdatei anzulegen, aus der dann Parameter für Alternativrechnungen zur Verfügung stehen.

6 Wichtige Hinweise zur Benutzung des Programms

Berechnungen sollten schrittweise, von oben nach unten, durchgeführt werden. Eingabefehler bzw. Fehlergebnisse werden vom System angezeigt und kommentiert. Wird ein Fehler gemeldet, korrigieren Sie entsprechend des Fehlerhinweises oder nach fachlichem Ermessen.

Es wird empfohlen, bei einer Neuberechnung immer ein blanko Berechnungsblatt einzusetzen, da nur dann eine eindeutige Gültigkeitsprüfung für nicht zulässige Eingabewerte erfolgt. Bitte beachten Sie die folgenden programmtechnischen und fachlichen Hinweise:

• Eingabebedingungen

In der Spalte **D** (unter Formel/Zeichen) werden bestimmte Eingabebedingungen vorgegeben. Achten Sie deshalb darauf, dass die eingegebenen Werte die Eingabebedingungen erfüllen. Um Fehlermeldungen zu vermeiden, sind deshalb die Eingabegrößen entsprechend der Zeichen: $<$, $=$, $>$, $<=$ (\leq) **und** $=>$ (\geq) einzutragen. Auch der Wert 0 (Null) ist als Eingabe definiert.

• Auswahllisten

Über Auswahllisten können bestimmte Spezifikationen eines Bauteiles aus den hinterlegten Datenbanken abgerufen werden. Klicken Sie hierzu auf die entsprechende gelbe Eingabezelle. Rechts neben der Zelle zeigt sich eine Pfeilspitze. Wenn Sie auf diese Pfeilspitze klicken, öffnet sich ein Dropdown-Menü. Wählen Sie durch Anklicken die gewünschte Spezifikation für die Berechnung. Beachten Sie die eingeblendeten Eingabebeispiele.

• *Auswahlliste Stoff*

Ist ein bestimmter Stoff in der Auswahlliste nicht aufgeführt, können die Kennwerte in die vorhandenen Alternativzellen eingegeben werden. Beachten Sie, dass immer nur ein Stoffname angegeben ist, also entweder aus der Auswahlliste oder als manuell eingegebene Alternative.

• *Auswahlliste Temp*

Die Berechnungstemperatur ist aus der *Auswahlliste Temp* zu entnehmen. Berücksichtigen Sie bei der Auswahl die Eingabebedingung, dass die Berechnungstemperatur \geq der eingetragenen Betriebstemperatur sein muss.

• Prüfung bezüglich der Temperaturgrenze

Bei der Anzeige "*für T nicht zulässig*" ist die Temperatur zu korrigieren oder eine Alternativeingabe vorzunehmen.

• Geometrie der Bauteilabmessungen/Wahl der Rohre

Die Bemessung von Bauteilen erfolgt in vielen Fällen als Nachrechnung. Es muss daher eine Vordimensionierung erfolgen. Orientieren Sie sich von vornherein an Normmaßen von Rohrwanddicken, Durchmesser etc..

• Fachliche Hilfestellungen per "Mouse over"

Fachliche Hilfestellungen finden Sie bei den Zellen, die mit einem roten Punkt in der oberen rechten Ecke markiert sind. Sobald Sie den Cursor

auf die entsprechende Zelle führen, werden Informationen eingeblendet. Alle Informationen sollten unbedingt gelesen werden.

7 Berechnungen mit dem "Solver"

Das EXCEL Add-In-Programm "Solver" wird für Iterationsberechnungen mit hoher Genauigkeit ($\pm 0,001$) eingesetzt.

Beachten Sie unbedingt, dass angezeigte Werte erst nach Berechnung mit dem "Solver" gültig sind. Klicken Sie den Berechnen-Schalter erst dann, wenn der Kommentar "**erfüllt, den Berechnen-Schalter klicken**" angezeigt wird. Erst dann kann die Berechnung gestartet werden.

Wichtig: Werden im weiteren Berechnungsprozess bestimmte Eingabewerte korrigiert, ist auf jeden Fall die Iterationsberechnung mit dem "Solver" neu durchzuführen.

• Nachdem Sie auf den Schalter "**Berechnen**" geklickt haben, startet der "Solver" im Normalfall mit folgender Meldung:
"Solver hat eine Lösung gefunden. Alle Nebenbedingungen und Optionen wurden eingehalten."

Bestätigen Sie die angebotene Option "**Lösung verwenden**" durch Klick auf den "**OK**"-Schalter.

• Wird bei der "Solver"-Berechnung dagegen folgende Meldung angezeigt:
"Solver konnte keine realisierbare Lösung finden."

Berechnen Sie die Rechnung ab, indem Sie auf den "Abbrechen-Schalter" klicken. Überprüfen Sie die Eingabewerte nach unrealen Parametern (z.B. Reibungswiderstand (zeta-Wert) bei Zulauf- oder Ausblaseleitung, Zeitfaktor oder ggf. Stoffparameter).

• Wird bei der "Solver"-Berechnung folgende Fehlermeldung angezeigt:
"Solver hat in einer Zielzelle oder einer Nebenbedingung einen Fehlerwert gefunden." klicken Sie auf den "**Abbrechen**"-Schalter.

In diesem Fall liegt wahrscheinlich eine unrealere Eingabe vor. Wiederholen Sie die "Solver"-Berechnung nach entsprechender Korrektur. Beachten Sie auch die "**Hilfe Solver**"-Information im jeweiligen Programm.

8 Kommentierte Beispielberechnung mit dem Modul SV 01

- Zeile 1: *ok*
- Zeile 10: *ok, Medium einfügen*
- Zeile 11: bleibt leer; hier nur Eingabe wenn Medium nicht in der Datenbank.
- Zeile 12: Eingabe der Berechnungstemperatur = 50
- Zeile 13: Eingabe des zulässigen Betriebsdruckes = 10
- Zeile 14: ist keine Eingabezeile. Als Berechnungszelle geschützt.
- Zeile 15: Eingabe des Massenstromes = 20.000
- Zeile 16: bleibt leer; hier nur Eingabe wenn anstelle des Massenstromes der Volumenstrom bekannt ist.
- Zeile 17: Eingabe des Umgebungsdruckes = 1. Das ist der Regelfall. Welche anderen Möglichkeiten unter anderen Betriebsbedingungen ggf. zulässig sind, ist in dem Kommentar angezeigt.
- Zeile 18: Eingabe der Windgeschwindigkeit = 1. Siehe dazu den Kommentar mit entsprechenden Richtwerten.
- Zeile 20: Hinweis:** da in Zeile 10 ein Medium der Datenbank gewählt wurde, werden in den Zeilen 21-24 die Stoffwerte automatisch eingefügt. (siehe farblose Zellen)
In diesem Fall bleiben auch die gelben Eingabezeilen leer. Wenn das Medium in Zeile 11 eingegeben wird, dann sind die folgenden 4 Zeilen maßgebend:
- Zeile 21: dann Eingabe = Stoffwert molare Masse
- Zeile 22: dann Eingabe = Isentropenexponent
- Zeile 23: dann Eingabe = Realgasfaktor
- Zeile 24: dann Eingabe = untere Explosionsgrenze.
- Zeile 28: Eingabe der Ausflussziffer 0,78.
Hinweis: die Ausflussziffer ist in Abhängigkeit des angezeigten Druckverhältnisses (siehe Zeile 26) zu bestimmen. In Zeile 27 sind wichtige Hersteller benannt. Klicken Sie auf eine dieser Zellen, dann erhalten Sie die Information, wie die Ausflussziffer zu bestimmen ist.
- Zeile 29: der gewählte Hersteller ist einzufügen
- Zeile 30: Eingabe einer zusätzlichen Spezifikation oder Bemerkung.
- Es erfolgt die Bemessung der Armatur.
- Zeile 51: Eingabe des gewählten Strömungsdurchmessers = 55

Technische Berechnung

Gase und Dämpfe : Sicherheitsventil , Zuleitung , Ausblaseleitung , Statik , Gefährdungspotential

8 Aufgabenstellung		Beispielrechnung		SV 01	
2	Geltungsbereich	Gase und Dämpfe; AD 2000-A2 und AD-Ergänzung vom 02.2002			
3	Literatur, Quellen; weitere siehe roter Pikt	1) Goßlau / Dr.Weyl, Sonderdr. TÜV 4. Aufl 95, Auslegung v. Si-Ventilen/ Berstscheiben 2) W. Wagner Sicherheitsarmaturen Vogel Buchverlag 1999.			
5	Beachte immer die Kommentare in Zellen mit rotem Punkt!	Eingabezeilen gelb , Medium aus Datenbank - oder manuell Zeile 11 wenn Benennung in Spalte D = rot , benutze in Eingabezeile E die Drop-Down-Liste			
7					
8	Benennung	Einheit	Formel / Zeichen	Werte - Tabelle	Bemerkungen
9	Betriebs - / Betreiberangaben		brennbare / nicht brennbare Gase, Dämpfe		
10	Gas, Dämpfe	-	Datenbank	Dimethyläther	
11	oder wenn nicht in Datenbank	-	Eingabe manuell		
12	Berechnungstemperatur	°C	$t \leftrightarrow 0^\circ\text{C}$	50	
13	zulässiger Betriebsüberdruck	bar	$p_0 = p_{zul} \Rightarrow 1$	10,0	
14	Systemdruck beim Abblasen	bar (abs.)	$p_0 = 1,1 \cdot p_0 + 1$	12,00	
15	abzuleitender Massenstrom	kg / h	q_m	20.000,0	zulässige Eingabe q_m oder $V_{\dot{V}}$
16	oder Normvolumenstrom	Nm ³ / h	$V_{\dot{N}}$		
17	Fremdgegendruck außerhalb LA	bar (abs.)	$p_{a,0} \ll p_0$; $p_{a,0} \ll p_0$	1,00	
18	Windgeschwindigkeit / kein Wind	m / s	$V_{\text{Wind}} = 0,2 \text{ m/s}$	1,0	
19				erfüllt	
20	Thermophysikalische und sicherheitstechnische Gaswerte				Datenbank
21	molare Masse	kg / kmol	M		46,069
22	Isentropenexponent	-	$k (1 \text{ bar}; 0^\circ\text{C})$		1,110
23	Realgasfaktor im Druckraum	-	Z0		1,00
24	untere Explosionsgrenze	%	UEG = > 0		1,60
25	Bestimmung der Ausflussziffer				
26	maßgebendes Druckverhältnis	-	$p_{a,0} / p_0$	0,0833	
27	Hersteller : Daten Ausflussziffer	ARI	Bopp & Rother	LESER	andere Hersteller
28	zuerkannte Ausflussziffer	-	$0,08 \leq \alpha_w < 1$	0,780	
29	gewählter Hersteller	-	Herstellerliste	nicht festgelegt	
30	Spezifizierung des SV	-	Typ / sonstige Angabe	Vollhub	
31				Eingabedaten erfüllt	
32	Größenbemessung des SV				
33	zulässig: $p_1 (15\%); p_2 (30\%)$ $\alpha = 0,03; \alpha = 0,15; \alpha = 0,30$		$c = \frac{p_0 - p_1}{p_2 + 1 - p_0}$	$A_0 = \frac{0,1791 \cdot q_m}{\psi \cdot \alpha_w \cdot p_0} \sqrt{\frac{T \cdot Z}{M}}$	Fächenverhältnisse $f_{(L,A)} = \frac{1}{1,1 - \alpha_w} \cdot \left(\frac{D_{E,A}}{d_0}\right)^2$
34	maßgeb. abzuleitender Massenstrom	kg / h	$q_m = V_{\dot{V}} \cdot M / 22,4$	20.000	
35	maßgeb. individuelle Gaskonstante	J / kg K	$R = 8314,33 \text{ J / kmol} \cdot \text{K}$	180,476	
36	Anspruchüberdruck des SV	bar	$p_0 = p_{zul}$	10,00	
37	Druck des absichernden System	bar (abs.)	p_0	12,00	
38	statischer Druck vor dem SV	bar (abs.)	$p_1 (15\%) = p_2 (30\%)$	11,700	
39	dynam. Fremdgegendruck hinter SV	bar (abs.)	$p_a (15\%) = 0,15 \cdot p_0 + 1$	2,500	
40	bei Druckverhältnis p_{a15} oder p_{a30}	bar (abs.)	$p_a (30\%) = 0,3 \cdot p_0 + 1$	4,000	
41	Druckdifferenz	bar	$p_0 - p_{a0}$	11,00	
42	absolute Temperatur	K	$T = 273 + t$	323	
43	unterkritisches Druckverhältnis				überkritisches Druckverhältnis
44	$\frac{p_{a,0}}{p_0} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$		$\psi = \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_{a,0}}{p_0}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{a,0}}{p_0}\right)^{\frac{k+1}{k}}}$		$\psi_{\text{max}} = \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}$
45	Prüfung : Druckverhältnis		$p_{a,0} / p_0$	0,0833	0,5826
46				überkritisch	0,4458
47	maßgebende Ausflussfunktion		ψ, ψ_{max}	0,4458	
48	engster Strömungsquerschnitt	mm ²	A_0 (Zeile 33)	2273,07	
49	erford. Strömungsdurchmesser	mm	$d_0 \text{ bar}$	53,80	
50	gewählter Strömungsdurchmesser	mm	$d_0 \Rightarrow d_0 \text{ bar}$	55,0	
51					Blatt 1 v. 3

- Zeile 55: Eingabe der Rohrrauigkeit = 0,1
- Zeile 56: Eingabe der Nennweite oder Anschlussnennweite = 65
- Zeile 57: Eingabe des Rohr-Innendurchmessers = 57,1
- Zeile 58: Eingabe des Widerstandswertes (das ist der Mindestwert) = 0,1
- Zeile 59: Eingabe Zeitfaktor = 80

Es erfolgt die Nachrechnung der Zuleitung.

- Zeile 70: Eingabe der Nennweite = 80
- Zeile 71: Eingabe des Rohr-Innendurchmessers = 83,1
- Zeile 72: Eingabe der Länge = 20.000
- Zeile 73: Eingabe des Widerstandswertes = 0,8

Beachte: In Zeile 71-73 kann eine Rohrerweiterung in der Berechnung berücksichtigt werden. Dann sind zusätzlich wie hier im Beispiel die geometrischen Daten einzugeben. Wenn keine Erweiterung, dann bleiben diese 3 Eingabezellen leer.

Die Eingabe vor der Iterationsrechnung ist damit abgeschlossen.

Zeile 83: **erfüllt: den Berechnen-Schalter klicken** (Klicken Sie den grauen Schalter)

Anzeige: **Iteration erfüllt**

Ab hier ist die Summe der Ergebnisse fachlich zu beurteilen.

- Zeile 94: vorhandenes Druckverhältnis = 25,95. (maximal zulässig ist 30 %)
- Zeile 95-96: es wird angezeigt, welche Ventilarart eingesetzt werden kann.
- Zeile 97-98: es werden Korrekturmöglichkeiten angezeigt, mit denen Sie Einfluss auf die Auslegung der Gesamtanlage nehmen können. Weitere Ergebnisse zur endgültigen Bemessung lesen Sie in den Zeilen 100-103.

Im Berechnungsbeispiel wird in Zeile 95 angezeigt, dass ein Sicherheitsventil ohne Faltenbalg für die geplante Gesamteinrichtung nicht zulässig ist. Dies können Sie durch eine Korrektur verändern, um einerseits eine technisch bessere Lösung zu finden, und um andererseits eine Kostenreduzierung zu erreichen (z.B. ändern Sie, wie es in der Korrektur vorgeschlagen wird: siehe Zeile 97).

- Zeile 70: Eingabe = 150 ; neue Nennweite der Ausblaseleitung
- Zeile 71: Eingabe = 144 ; gewählter Rohr-Innendurchmesser
- Zeile 72: Eingabe = 28000 ; anstelle Erweiterung diesmal nur 1 Rohr
- Zeile 73: Eingabe = 0,5 ; reduzierter Wert wegen größerer Nennweite. In diesem Fall wird also auf eine Rohrerweiterung verzichtet.

Nach **erneuter Iteration** wird Ihnen angezeigt, dass diese Ausrüstung mit einem Sicherheitsventil ohne Faltenbalg ausgeführt werden kann.

Die dabei entstehenden Nebeneffekte sind weiterhin:

Beim Ausblasen hat das Gas keine Schallgeschwindigkeit mehr (Zeile 101), die Geräuschemission ist geringer und die erforderliche Rohrhalterungskraft reduziert sich von 6,6 KN auf 4,4 KN. Die Sicherheitseinrichtung wird hinsichtlich der Kosten erheblich geringer ausfallen.

Da das Medium brennbar ist und in die Atmosphäre abgeleitet wird, erfolgt im Blatt 3 die Berechnung des Gefährdungspotentials. Diese Daten sollten bei Anzeige einer bestehenden Gefährdung ggf. mit einem Sachverständigen ausgewertet und entsprechende Maßnahmen festgelegt werden.

Technische Berechnung
Gase und Dämpfe : Sicherheitsventil , Zuleitung , Ausblaseleitung , Statik , Gefährdungspotential

53 Zuleitung, Ausblaseleitung, Systemparameter					SV 01
54 Benennung	Einheit	Formel / Zeichen	Werte - Tabelle	Bemerkungen	
55 Rauigkeit der Rohrleitungen	mm	$r \Rightarrow 0,001$	0,1000		
56 Zuleitung zum SV	mm	DNe	65,0		
57 Rohr - Innendurchmesser	mm	De > = do	57,1		
58 Widerstandswerte : Formstücke / Einbau		$\zeta_{Form} = 0,1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n$	0,10		
59 Zeitfaktor (SV - Öffnungszeit)	m.s. √bar	Zf > = > 80	80		
60			erfüllt		
61 Rohrreibungswert Zuleitung	-	$\lambda = \left(2 \cdot \log \frac{d}{r} + 1,14 \right)^{-2}$	0,0226		
62 zulässige Leitungslänge infolge Druckverlust		$L_s = \frac{D_e}{\lambda} \cdot \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{p_n}{p_v} \right]^2 - 1 \right\} \cdot \left(\frac{f_e}{v} \right)^2 - 2 \cdot \ln \frac{p_n}{p_v} - \zeta_1 \right\}$	140	Flächenverhältnis f _E 1,26	
65 zulässige Leitungslänge zur Vermeidung v. Zulaufresonanzen		$L_{zul} \leq \frac{22,4 \cdot ZF}{v \cdot \alpha_n \cdot \sqrt{p}} \left(\frac{D_e}{d_o} \right)^2 \sqrt{1 - \frac{p_{at}}{p_o}}$	1172		
67 zulässige Einbaulänge	mm	L _{zul} < =	140		
68 Korrekturmöglichkeiten : 1.) DE - Zuleitung nicht ausreichend, 2.) Verlustwerte prüfen, 3.) anderes SV, do zu klein					
69 Ausblaseleitung			DA > DA1	DA2 > DA1	
70 Nennweite Ventilausgang	mm	DNA (Flanschschaft)	80		
71 Rohr - Innendurchmesser	mm	Da > = De Zuleitg.	83,1	126,0	-
72 Länge der Ausblaseleitung	mm	LA > 0	20.000	8.000	-
73 Widerstandswerte : Formstücke / Einbau		$\zeta_{Form} = 0,1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_n$	0,80	0,30	-
74			erfüllt		
75 Sicherheit geg. Instabilität der Rohrleitung	S		4		
76 berechn. Druck am Rohrende		$p_s = \frac{2 \cdot p_o \cdot v_f \cdot \sqrt{Z_s}}{\sqrt{k \cdot (k+1)} \cdot f_A \cdot \sqrt{Z}}$	1,1075	Flächenverhältnis	
77 Druck d. ausströmenden Gases	bar (abs.)		1,107	f _A 6,313	
78 Rohrreibungswert Ausblaseleitg.	-	λ	0,0205	0,0185	
79 SUM Widerstandswerte der Rohrleitung		$\lambda \cdot \frac{L_A}{D_A} + \sum \zeta_{Form}$	5,7410	0,259	
80 SUM Widerstand bei Reihenschaltung (L 1 / da,1) + (L 2 / da,2)		$\sum \left(\lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} + \zeta_i \right) \cdot \left(\frac{d}{D_i} \right)^4$	6,000		
82 maßgebender Rohrleitungswiderstand		äquival. Sum.Widerstand	6,000		
83	erfüllt, - den Berechnen Schalter klicken				
84 durch Ausströmen bedingte Reaktionskraft	Iterationsgleichung zur Berechnung von p _a				
	$F_{Rk} = \frac{q_m}{3600} v_s + A_{in} \cdot (p_n - p_{at}) \cdot 0,1$	$v_n \leq v_s = \sqrt{\frac{k \cdot p_n \cdot 10^3}{p_n}}$	$\lambda \cdot \frac{L_A}{d_A} + \zeta_{Form} = \frac{k+1}{2 \cdot k} \left(Ma^2 - Mn^2 - 2 \cdot \ln \frac{Mn}{Ma} \right)$		
	$F_{Rk} = (q_n / 3600) \cdot v_s$				
Iteration erfüllt					
93 vorh. Fremdgedruck hinter dem SV		p _e (bar abs.)	3,5950		
94 vorhandenes Druckverhältnis	%	(p _e - 1) / p _e	25,95		
95 zul. Fremddruck ohne Faltenbalg	bar (abs.)	p _e < = zul. p _e , 15%	2,500	Einsatz nicht zulässig	
96 zul. Fremddruck mit Faltenbalg	bar (abs.)	p _e < = zul. p _e , 30%	4,000	Einsatz zulässig	
97 Korrekturmöglichkeiten :	1.) DA - Ausblaseleitung erweitern 2.) zeta zu hoch 3.) anderes SV				
98	nach jeder Änderung von Daten und Anzeige "Iteration nicht erfüllt" ist die Berechnung zu wiederholen				
100 Temp am Rohrende bei Austritt	°C	tr _{ex} = 2 · T / k + 1	33	tr _{ex} 50	
101 Gasgeschwindigkeit bei Austritt	m / s	V _s	254,4		
102 auftretende Reaktionskraft	N	F _R	1.551		
103 erforderl. Rohrhalterungskraft	N	F _R (S i = 4)	6.206	in KN 6,2	
104 Bemerkungen					
105					
106					

108	Charakteristische Berechnungsgrößen des Gases bei Notentspannung				SV 01
109	Bestimmungsgleichungen				
	$\frac{p_a}{p_o} \leq \frac{s+c}{1,1} \left(1 - \frac{p_u}{p_o} \right) \cdot \frac{p_a}{p_o} \quad (2a)$		$r_s = \frac{v_n \cdot v_u \cdot p_m}{g \cdot \Delta p} + 560 \cdot \sqrt{\left(\frac{H_k}{d_n} \right)^2 \left[\left(\frac{H_n}{H_k + 2} \right)^2 - 1 \right]} \cdot \frac{v_u^2 \cdot p_u \cdot d_n}{g \cdot v_n \cdot \Delta p}$		
	$s + c = 0,15 \text{ bzw. } 0,3$		$\rho_N - \rho_e \leq 0 \Rightarrow \Delta p = 0,1 \quad C_g = 3,4 \cdot \frac{v_u}{v_n} \cdot \left(\frac{d_n}{H_n + 2 \cdot H_k} \right)^{0,95}$		
	$H_k (v_u < 0) = \frac{180 \cdot R_g^{0,75}}{\sqrt[3]{\rho_u} \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{p_u}{p_{at}} \right) \sqrt{m}}}$		$\text{in } C_g \text{ gilt: } H_k (v_u > 0) = 0,0132 \cdot v_u \cdot \sqrt{\frac{d_n^2 \cdot \rho_u^2}{g \cdot v_u \cdot p_u \cdot \Delta p}}$		
119	Benennung	Einheit	Formel / zeichen	Werte - Tabelle	Bemerkungen
120	maßgebende Berechnungsparameter				
121	Querwindgeschwindigkeit	m / s	v	1,0	
122	untere Explosionsgrenze	%	UEG	1,6	
123	Enddruck in der Ausblaseleitung	bar (abs.)	p _n	1,107	
124	Austrittstemperatur des Gases	°C	t _{trist}	42	
125	Endgeschwindigkeit des Gases	m / s	v _n <= v _s	254,4	
126	Dichte der Umgebungsluft	kg / m ³	p = 101 325 Pa , 15 °C	1,293	
127	Gasdichte beim Ausblasen	kg / m ³	ρ _n (p _s ; T _s)	1,900	
128	wirksame Reaktionskraft	N	F _R	1551	
129	Höhe der Zündfähigkeit des	m	$H^* = \frac{1,7 \cdot m}{UEG \cdot M \cdot \sqrt{\rho_u \cdot R_g}}$	32,6	
130	Freistrahles bei Windstille				
131	berechnete Kulminationshöhe	m	H _k (Lit. 4 Formel A39)	92,8	
132	kritische Höhe, vorh. Brandgefährdung		min (H * , H _k) (m)	32,6	
133	Gaskonzentration bei Windstille	%		0,59426	< 1,6
134	in der Kulminationshöhe	ppm	$C_{cc} = \frac{0,01 \cdot \sqrt{(1 - \rho_u / \rho_{at})}}{M_g \cdot \sqrt[3]{\rho_u \cdot R_g^{1,25}}} \cdot q_n^{1,5}$	5,943	< 1,6E+04
135	Brand - / Explosionsgefährdung			keine Gefährdung vorhanden	
136	Gaskonzentration bei Querwindgeschwindigkeit , betrachteter Radius				
137	Höhe H _n über Rohrende	Gaskonzentration C _g (ppm)		zugehöriger Radius r _g (m)	
138	0	m	610	263,6	
139	5	m	555	279,4	
140	10	m	506	295,5	
141	20	m	427	328,5	
142	30	m	365	362,6	
143	32,6	m	351	371,5	
144	Bemerkungen				
147	04.03.2003	Bearbeiter		Blatt 3 v. 3	