



**Leitfaden zu den  
sicherheitstechnischen Anforderungen  
des ChemCar Wettbewerbs  
Rev. 12**

**ChemCar 2024**

**INBUREX Consulting**  
Gesellschaft für  
Explosionsschutz und  
Anlagensicherheit mbH

August-Thyssen-Str. 1  
59067 Hamm  
Telefon: +49 (0)2381 973 11 0  
Telefax: +49 (0)2381 973 11 99  
E-Mail: [infos@inburex.com](mailto:infos@inburex.com)  
Internet: [www.inburex.com](http://www.inburex.com)

Geschäftsführer:  
Dr. Bernd Broeckmann  
Dr. Klaus Hermann  
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Meistes  
Sitz der Gesellschaft: Hamm  
Amtsgericht Hamm HRB 1523

## Vorwort

Dieser Leitfaden listet Fragestellungen, Dokumentationen und Nachweise auf, die zur sicherheitstechnischen Betrachtung der eingereichten ChemCar-Sicherheitskonzepte erforderlich sind. Ohne diese ist eine qualifizierte Bewertung der Konzepte nicht möglich und eine Sicherheitsfreigabe kann nicht erteilt werden.

Zur Verdeutlichung ist am Ende dieses Leitfadens exemplarisch die Dokumentation der technischen Daten eines ChemCar-Teams aus den vergangenen Jahren, inklusive der Berechnungen zur Abschätzung der entstehenden Reaktionswärme sowie des maximal zu erwartenden Druckes, aufgeführt (s. Kapitel 7 - 9). Diese ist jedoch nur als Beispiel für die äußere Form sowie für die Ausführlichkeit der Dokumentation zu verstehen, eine (inhaltliche) Übertragung 1 zu 1 ist in keinem Fall möglich.

### **Allgemeine Hinweise zu Anfertigung des Sicherheitskonzeptes:**

- Bei der Erstellung des Sicherheitskonzeptes inkl. der Gefährdungsbeurteilung sind die unter 1. – 6. formulierten Fragen und Hinweise zu beantworten. Die Auflistung ist **nicht abschließend**, d. h. Gefährdungen, die sich aus dem speziellen Anwendungsfall des ChemCars möglicherweise ergeben, sind darüber hinaus selbständig zu ermitteln und zu diskutieren.
- Das Sicherheitskonzept inkl. der Gefährdungsbeurteilung ist als eigenständiges Dokument (zusätzlich zur Konzeptvorlage der kjVI) zu erstellen.

## 1. Druck

- Druckeinheiten
  - Es ist auf eine konsistente Verwendung der Einheit für den Druck zu achten – Absolutdruck [bar<sub>abs</sub>] oder Relativdruck [bar<sub>ü</sub>]
- Betriebsdruck
  - Wie groß ist der Druck im Normalbetrieb des ChemCars?  
Es ist immer ein Druck anzugeben und zu beschreiben, warum dieser Druck im Normalbetrieb vorliegt.
- Maximal zu erwartender Druck
  - Wie hoch kann der Druck bei geschlossenem Druckbehälter durch die Reaktion maximal werden?  
Hierbei ist das worst-case Szenario zu betrachten. Bitte sinnvoll beschreiben, welche Annahmen für den worst-case getroffen wurden.
- Drucktest / Herstellerzertifikat
  - Fügt die Ergebnisse des durchgeführten Drucktests an oder legt ein Herstellerzertifikat bei. Bei Verwendung eines Drucksystems kann es, trotz vorhandenem Herstellerzertifikat, dazu kommen, dass ein Drucktest für das Gesamtsystem notwendig ist. Die Anforderungen an den Drucktest sowie die Durchführung können den ChemCar Safety Rules entnommen werden.  
  
Sofern Herstellerzertifikat, Drucktest bzw. beide Punkte für den Betrieb des ChemCar nicht notwendig sind, bitte nachvollziehbare Begründung angeben.
- Sicherheitsventil
  - Die kompletten Berechnungen zur Auslegung des verwendeten Sicherheitsventils (z. B. nach AD Merkblatt A2) müssen nachvollziehbar vorgelegt werden. Nicht nur die Ergebnisse!  
  
Sofern ein Sicherheitsventil für den sicheren Betrieb des ChemCar nicht notwendig ist, bitte nachvollziehbare Begründung angeben.

- Druckmesser / -anzeige
  - Stellt sicher, dass das ChemCar über eine geeignete Druckmessung / -anzeige verfügt und achtet darauf, dass diese auch im R&I-Fließbild erfasst ist / sind. An den ChemCars müssen in jedem Zustand (z. B. insbesondere bei einem liegengebliebenen ChemCar) die inneren Druckverhältnisse abgelesen werden können.  
  
Sofern ein Druckmesser / -anzeige für den sicheren Betrieb des ChemCar nicht notwendig ist, bitte nachvollziehbare Begründung angeben.
- In Übereinstimmung mit den ChemCar Safety Rules ist darauf zu achten, dass das Druckinhaltsprodukt (Druck \* Volumen) nach Möglichkeit 50 [bar \* L] nicht überschreitet (→ Gültigkeitsbereich der Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU; Richtlinie 2009/104/EG, Betriebssicherheitsverordnung). Für die Berechnung ist der maximal zu erwartende Druck (worst-case) anzunehmen. Bei Überschreitung ist Rücksprache mit dem Orga-Team zu halten.

## 2. Temperatur

- Temperatureinheiten
  - Es ist auf eine konsistente Verwendung der Einheit für die Temperatur zu achten – wahlweise absolute Temperatur [K] oder relative Temperatur [°C]
- Maximaltemperatur
  - Wie hoch ist die maximal zu erwartende Temperatur während des normalen Betriebs?  
Die kompletten Berechnungen sowie die Berechnungsgrundlagen sind anzugeben.  
Es ist nur eine Temperatur als Maximaltemperatur anzugeben und zu beschreiben, warum diese im Normalbetrieb vorliegt.
- Thermisches Gefahrenpotential
  - Werden Flamm- oder Zündpunkte eines oder mehrerer Stoffe erreicht?
  - Besteht die Gefahr, dass es zu thermischer Zersetzung eines oder mehrerer Stoffe kommen kann? Welche Zersetzungsprodukte entstehen?
  - Welche Folgereaktionen können einsetzen?
  - Wie hoch sind die entstehenden Temperaturen aus den thermischen Reaktionen im Chemcar?
  - Weitere Auswirkungen, etc.?
- Adiabate Temperaturerhöhung / -erniedrigung
  - Ist die verwendete Reaktion exotherm oder endotherm?
  - Welche Reaktionskinetik liegt der Reaktion zu Grunde?
  - Welche Temperaturerhöhung oder -erniedrigung ist unter adiabaten Bedingungen zu erwarten? (Hierbei ist die vollständige Umsetzung bei der maximalen Einsatzmenge der Edukte zugrunde zu legen.)  
  
Hinweis: Eine Temperaturänderung kann immer berechnet werden. Experimente werden als zusätzliche Informationsquelle betrachtet, ersetzen die Berechnung jedoch nicht.
  - Die Ergebnisse der adiabaten Temperaturerhöhung oder -erniedrigung sind im Konzept zu diskutieren.
- Heiße Oberflächen
  - Welche Temperaturen können an für Personen zugänglichen Oberflächen entstehen?
  - Kann es durch heiße Oberflächen zu Verbrennungen kommen (Richtwert:  $T > 60 \text{ °C}$ )?

- Ist ein Berührungsschutz notwendig?
- Kalte Oberflächen
  - Wie stark kühlen sich für Personen zugängliche Oberflächen ab (durch Reaktionen oder Befüllvorgänge)?
  - Kann es zu Verletzungen durch kalte Oberflächen kommen z. B. Erfrierungen oder Kaltverbrennungen (Richtwert:  $T < 0\text{ °C}$ )?
  - Ist ein Berührungsschutz notwendig?

### 3. Emissionen

- Abgasemission
  - Werden vor, während oder nach dem Betrieb Abgase freigesetzt?  
Welche Abgase werden freigesetzt (z. B. CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>...)?
  - Welche Mengen werden maximal freigesetzt (Bitte Berechnungen mit angeben)?
  - Welche maximalen Gaskonzentrationen können durch die Gasemissionen im Umfeld entstehen? Bitte sinnvolle Annahmen treffen zur Berechnung der Gaskonzentration.
  - Wie hoch sind die Grenzwerte für den austretenden Stoff (→ Toxizität...)?  
Bitte Grenzwerte angeben und diskutieren.
  - Ist die vorhandene Lüftung ausreichend, um eine Gefährdung durch die austretenden Stoffe zu mindern bzw. zu vermeiden?

Sofern notwendig, bitte das Rückhaltekonzept für Gase beschreiben, die nicht in die Umgebung freigesetzt werden dürfen.

#### **Hinweis:**

Gemäß den ChemCar-Regeln ist die **Freisetzung von geringen Mengen Wasserstoff**, die bei einer Nebenreaktion entstehen (bspw. in einer elektrochemischen Batterie) erlaubt. Jedoch ist im Rahmen der Erstellung des Sicherheitskonzeptes diese geringe Menge zu quantifizieren und sicherheitstechnisch zu bewerten. Bei unvollständiger Datenlagen (bspw. Bildungsrate von Wasserstoff) sind nachvollziehbare Annahmen zu verwenden und ausführlich darzustellen.

- Schallemission
  - Wie hoch ist die maximal zu erwartende Schallpegel während des Betriebs?
  - Kann es durch die Schallbelastung zu Verletzungen / Beeinträchtigungen kommen (Durchführende und Zuschauer)?

## 4. Verfahrensweise

- Befüllen / Dosieren
  - Wie wird der Reaktor befüllt?
  - Wie werden die Edukte dosiert?
  - Kann es zu einer Fehlbefüllung/ -dosierung kommen?
  - Welche Folgen kann eine Fehlbefüllung/ -dosierung haben?
  - etc.
- Leckagen/ Unbeabsichtigte Freisetzung

Hier ist ausschließlich die Freisetzung während des Betriebes – Wettbewerb im Veranstaltungssaal – gemeint.

  - Welche Gefahren können durch eine Leckage oder unbeabsichtigte Freisetzung entstehen?
  - Wie werden unbeabsichtigte Freisetzungen (insbesondere Flüssigkeitsleckagen) zurückgehalten?
  - Gibt es ein Rückhaltekonzept, bspw. Auffangwanne?
  - Wie ist bei einer Leckage oder einer unbeabsichtigten Freisetzung vorzugehen?
  - Welche persönliche Schutzausrüstung ist notwendig?

Hinweis:  
Der Umgang mit Leckagen oder unbeabsichtigter Freisetzung während der Arbeiten am ChemCar im Vorbereitungsraum sind der Vollständigkeit halber ebenfalls zu beschreiben.
- Mechanische Funktionen
  - Wie wird die Kraft übertragen?
  - Was geschieht bei einer mechanischen Blockade z. B. der Räder? Kann hierdurch eine gefährliche Situation entstehen?
- Bestimmungsgemäßer Betrieb
  - Wie ist der bestimmungsgemäße Betrieb des ChemCars definiert?
  - Wie ist es gedacht, dass das ChemCar – nach Durchführen der Start-Aktion vor dem Lauf – mit Energie versorgt wird, sich in Bewegung setzt, in Bewegung bleibt und schließlich anhält?
  - Wie ist der Materialfluss während des bestimmungsgemäßen Betriebs?

- Notstopp
  - Gibt es einen Notstopp-Mechanismus?
  - Wie und wann wird dieser bedient?
- Transport an die Startlinie
  - Sind nach dem Transport in den Startbereich eine oder mehrere Transportsicherungen zu entfernen, bevor das ChemCar an die Startlinie gestellt und mit der Single-Action gestartet wird? Sind möglicherweise weitere Vorkehrungen für den Transport zur Startlinie zu treffen?

## 5. Dokumentation

- Grundsätzliche Dokumente
  - Eine genaue Beschreibung der Funktionsweise des ChemCars
  - Eine Fotografie oder Zeichnung des ChemCars  
(auch unfertiges ChemCar als Status Quo – Bitte Datum und Zustand des ChemCars angeben ODER einzelne Bauteile / Bauabschnitte)  
Bitte die Bauteile beschriften – gilt für Zeichnungen und Fotos
  - Ein Blockfließbild des Prozesses
  - R&I-Fließbild des ChemCars. Hierbei bitte auf dessen Vollständigkeit achten (Rohrleitungen, Beschriftungen etc.). Bitte den Unterschied zu einem Blockfließbild beachten.
  - Sicherheitsdatenblätter aller vorhandenen Stoffe (sowohl eingesetzte als auch entstehende)
    - Aktualität beachten (idealerweise sollten die SDBs nicht älter als 2 Jahre sein!)
  - H & P-Sätze in Schriftform (nicht nur Abkürzungen)
  - Zusammenfassung aller verwendeten Substanzen mit Mengenangaben in einem Gefahrstoffkataster
- Funktionsweise
  - Beschreibung der relevanten Anlagenteile (Turbine, Safety-Bags etc.) und deren Funktionsweise
- Betriebsanweisung
  - Betriebsanweisung nach TRGS 555 und GefStoffV § 14 für die verwendeten Edukte, Produkte und eventueller Hilfsstoffe.  
In einer Betriebsanweisung sollen kurz die Gefahren (explosionsgefährlich, brandfördernd, toxisch etc.), zu vermeidende Zustände, Umgang, Transport, Handhabung sowie die Entsorgung eines Stoffes erläutert werden. Aus der Betriebsanweisung muss hervorgehen, welche persönliche Schutzausrüstung minimal erforderlich ist. Ein Beispiel für eine Betriebsanweisung ist in Kapitel 9 abgelegt.  
**► Ein Sicherheitsdatenblatt ist keine Betriebsanweisung, kann aber als Informationsquelle bei der Erstellung der Betriebsanweisung verwendet werden (vgl. Anhang zur TRGS 555)!!!**  
**Hinweis:** Je Stoff ist eine separate Betriebsanweisung zu erstellen. Eine Betriebsanweisung für das ChemCar ist lediglich optional.

- Reaktionsgleichung
  - Gebt die vollständige (!) Reaktionsgleichung, inklusive aller Nebenreaktionen und Zwischenprodukte an
- Berechnungen
  - Sämtliche Rechenwege sind anzugeben (maximale Temperatur, maximaler Druck, Temperaturerhöhung etc.), nicht nur die Ergebnisse.  
Bei der Verwendung von Excel bitte auf die Nachvollziehbarkeit der eingereichten Dokumentation achten!
- Materialeignung
  - Sind die verwendeten Materialien geeignet?
  - Kann es durch eingesetzte oder entstehende Stoffe zu einer Korrosion oder Versprödung von Bauteilen kommen?
  - Sind die verwendeten Materialien für die Temperaturbereiche geeignet?

Hinweis:

Sämtliche Bauteile des ChemCar müssen in diesem Zusammenhang betrachtet werden. Für alle Bauteile, die mit Stoffen / Chemikalien (Edukte, Zwischenprodukte, Produkte) in Kontakt kommen können, ist die Materialeignung nachzuweisen, d. h. es ist zu klären, ob es unter den Einsatzbedingungen zu Wechselwirkungen zwischen den verwendeten Materialien und den eingesetzten Stoffen / Chemikalien kommen kann. Hierbei sind insbesondere auch Havarien oder Fehlfunktionen des ChemCars in die Betrachtung mit einzubeziehen, d. h. es ist die Frage zu beantworten, ob die sichere Rückhaltung von austretenden Stoffen gewährleistet ist!

Zudem: Kann es zu Wechselwirkungen zwischen den austretenden Stoffen und den Rückhalteeinrichtungen kommen, welche die Funktion der Rückhaltung signifikant beeinträchtigen.

**Der Nachweis über die Materialverträglichkeit (Herstellerangaben, Laborversuche etc.) insbesondere mit den Chemikalien (→ Edukte, Produkte UND Zwischenprodukte!!!) ist als unabdingbarer Teil des Sicherheitskonzeptes einzureichen.**

Sofern Listen über die Materialverträglichkeit eingereicht werden, sollte betreffende Verträglichkeit eindeutig hervorgehoben werden. Es muss keine vollständige Liste eingereicht werden, das Deckblatt sowie die erforderliche Seite (mit Markierung) sind ausreichend.

## 6. Gefährdungsbeurteilung

Eine Gefährdungsbeurteilung hat den Sinn und Zweck, den bestimmungsgemäßen Betrieb sowie etwaige Störungen abzudecken. Die Auswirkungen einer Störung sind dabei auf den Anwendungsfall zu beziehen. Ein Verweis auf das Sicherheitsdatenblatt (allgemeiner Anwendungsfall) reicht nicht aus!

Neben den aus den verwendeten Stoffen entstehenden Gefahren (z. B. Explosionsgefahr), sollen auch solche betrachtet werden, die durch Materialeigenschaften (Glasbehälter ► Splitterschutz) oder Bauteile (schnell rotierendes Bauteil ► Abdeckung) entstehen können.

### Beispiel für eine Gefährdungsbetrachtung (Safety-Analysis Form)

Sequence of Steps	Potential Hazards	Procedure to Control Hazard	PPE or Equipment Required
Emergency shut-down			
	Hazard A (z. B. Druckanstieg)	Procedure A (z. B. Stoppen der Eduktzuleitung, Öffnen der Sicherheitsventile)	PPE A, B, C (z. B. Schutzbrille, Laborkittel, Schutzhandschuhe)
Start-Up Procedure			
Run Time Procedure			
Shutdown Procedure			
Cleanup / Waste Disposal			

### Beispiel für ein Gefahrstoffkataster

#### Chemical Information Page

Fill in as much data below as available. **Be sure to list the units!** If data are not available, leave the field blank. Material safety Datasheet (MSDS/SDS) for each named hazardous material is mandatory.

**Chemical Quantities:** List below the chemical names, concentrations, and total quantity of chemical required for the competition.

Chemical Name	Chemical State Solid, Liquid, Gas	Concentration Required	Total Quantity Required for Competition	Specific Personal Protective Equipment / Remarks

**Chemical Properties and Hazards for ALL CHEMICALS, including reactants, solvents, intermediates and products.**

Chemical Name	Physical State S, L, G	GHS Symbol(s)	H&P- Statements (No. only)		Incompatible Chemicals List chemicals present within the laboratory, and any others that may come in contact.	Flash Point Temp.
			Hazard Statements	Precautionary Statements		

## 7. Beispiel: Berechnung thermisches Gefahrenpotential

Calculation:									
<b>Berechnungstabelle ChemCar</b>									
<b>1. Parameter</b>									
Wegstrecke	20 m								
Zeit	30 s								
<b>2. Geometrien</b>									
Raddurchmesser	0,2 m								
Kolbenhub	0,35 m								
Anzahl der Umdrehungen	31,83								
Durchmesser des Zylinders	0,008 m								
benötigtes Volumen	0,00056 m <sup>3</sup>								
<b>3. Fahrzeug Daten</b>									
Gewicht	5 kg								
zusätzliches Gewicht (Faktor)	0,3								
Gesamtgewicht	6,5 kg								
<b>4. Dynamische Berechnung</b>									
Kinetische Energie	1,44 J								
Geschwindigkeit	0,667 m/s								
Gravitationskonstante	9,81 m/s <sup>2</sup>								
Reibbeiwert	0,6								
Reibenergie	765,18 J								
Wirkungsgrad	0,3								
beböigte Leistung	2555,41 W								
benötigte CO <sub>2</sub> -Menge	1,01 mol								
Gaskonstante R	8,314 J/mol/K								
Temperatur	303,75 K								
$p \cdot V = R \cdot n \cdot T$ $n = p \cdot V / (R \cdot T)$									
<b>5. Stoffwerte</b>									
Reaktion	2 HCl + K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> --> 2 KCl + H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub>								
<b>Edukte</b>	<b>Masse [g]</b>	<b>Massenanteil</b>	<b>Molare Masse [g/mol]</b>	<b>Stoffmenge [mol]</b>	<b>Stöchiometrischer Koeffizient</b>	<b>freie Gibbsenthalpie [kJ/mol]</b>	<b>Standardbildungsenthalpie [kJ/mol]</b>	<b>Volumen [dm<sup>3</sup>]</b>	
Salzsäure	368,947	0,2000	36,461	2,024	-2	-93,8	-92,31		
Kaliumcarbonat	289,637	0,5000	138,21	1,048	-1	-1065,4	-1151		
Wasser	1765,424		18	98,079	1	-237,2	-285,83		
<b>Produkte</b>	<b>Masse [g]</b>		<b>Molare Masse [g/mol]</b>	<b>Stoffmenge [mol]</b>	<b>Stöchiometrischer Koeffizient</b>	<b>freie Gibbsenthalpie [kJ/mol]</b>	<b>Standardbildungsenthalpie [kJ/mol]</b>	<b>Volumen [dm<sup>3</sup>]</b>	
Kohlenstoffdioxid	44,533		44,01	1,012	1	-394,5	-393,5	22,67	
Kaliumchlorid	150,875		74,551	2,024	2	-406,6	-436		
Wasser	18,214		18	1,012	1	-237,2	-285,8		
Molverhältnis Wasser/Carbonat	16,8947								
<b>6. Reaktionstechnische Werte</b>									
Reaktionswärme	-872,45 kJ								
freie Reaktionsenthalpie nach Gibbs	-191900 J/mol								
Faktor für Überschuss an Kaliumcarbonat	1,036								
Umsatz der Reaktion	1,000								
Exp. ermitteltes Volumen des Reaktionsgemisches	0,600 dm <sup>3</sup>								
<b>7. Berechnung der adiabaten Temperaturerhöhung</b>									
Flüssigphase	3372,981 mol/m <sup>3</sup>								
Konzentration (begrenzende Komponente)	-215680 J/mol								
Reaktionsenthalpie	998,00 kg/m <sup>3</sup>								
Dichte (Annahme Wasser) Wärmekapazität	4184,00 J/kg/K								
adiabate Temperaturerhöhung	174,22 K								
<b>8. Berechnung des entstehenden Drucks</b>									
"freies" Volumen im Reaktor	0,4211 dm <sup>3</sup>								
Van-der-Waals Konstanten	0,0004 m <sup>3</sup>								
a	3,590E-01 (Pam) <sup>6</sup> /mol <sup>2</sup>								
b	4,270E-05 m <sup>3</sup> /mol								
Entstehender Druck nach Van-der-Waal	4,689E+06 Pa								
Entstehender Druck nach Van-der-Waal	46,89 bar								
$\Delta T_{ad} = \frac{c_A^0 \cdot (-\Delta_r H)}{\rho \cdot c_p}$ $p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V - n \cdot b} - a \left( \frac{n}{V} \right)^2$									

Mit Hilfe der angegebenen Berechnungen wird die Leistung abgeschätzt, die notwendig ist, um die gewünschte Strecke bei einem bestimmten Gewicht zurückzulegen. Mit Hilfe des idealen Gasgesetzes wird die benötigte Menge an entstehendem Gas (hier: CO<sub>2</sub>) berechnet. Über die Stöchiometrie der Reaktion, erhält man die Einsatzmengen der Edukte. Korrekturen erfolgen über experimentell ermittelte Werte. Da beide Edukte in wässriger Phase vorliegen, wurden die Dichte und die spezifische Wärmekapazität für Wasser angenommen.

## 8. Beispiel für die Auslegung eines Sicherheitsventiles

Quelle: AD2000-A2: Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung – Sicherheitsventile

01					
02	Ansprechdruck der SV		1 bar <sub>g</sub>		
03	Teilenummer			d <sub>0</sub> =18mm, alpha=0,54	
04	Bezug				
05	Literatur: Quelle		AD2000-A2		
06	<b>Benennung</b>	<b>Einheit</b>	<b>Formel / Zeichen</b>	<b>Werte - Tabelle</b>	<b>Bemerkungen</b>
07	<b>Umgebungsdaten</b>				
08	Aussendruck	Pa	$P_e$	1,01E+05	
09	Innendruck	Pa	$P_0$	2,01E+05	1 bar <sub>g</sub>
10	Temperatur	K	$T$	293,15	
11	Durchtrittsfläche	m <sup>2</sup>	$A_0$	0,0003	d=18 mm
12	Ausflussziffer	-	$\alpha$	0,54	
13	<b>Thermophysikalische Stoffdaten</b>				
14	Stoffname			28.2 Vol% NH3	Mischung
15	Molmasse	kg/kmol	$M$	nicht erforderlich /s.u	
16	Kompressibilität	-	$Z$	0,889	Z <sub>phast</sub>
17	Isentropenexponent	-	$\kappa$	1,4	
18	<b>Ergebnisse</b>				
19	maximaler Massenstrom	kg/s	$\dot{m} = \alpha \cdot A_0 \cdot \psi \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_g \cdot P_0}$	2,26E-01	
20	maximaler Massenstrom	kg/h		812,61807	
21	maximaler Volumenstrom	Nm <sup>3</sup> /s	$\dot{V}_N = \frac{\dot{m}}{\rho_{gN}}$	1,381E-01	Normvolumen
22	maximaler Volumenstrom	Nm <sup>3</sup> /h		497,014	
23	Strömungsform	-		kritisch	
24	<b>Berechnungsteil</b>				
25	Gasdichte	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_g = \frac{P \cdot M}{R \cdot Z \cdot T}$	28,591	
26	Normdichte Gas	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{gN} = \frac{101300[\text{Pa}] \cdot M}{R \cdot 273,15[\text{K}]}$	1,635	
27	Druckverhältnis Innendruck / Außendruck	-	$\eta_0 = \frac{P_e}{P_0}$	0,503	
28	Kritisches Druckverhältnis	-	$\eta_{crit} = \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$	0,528	
29	Druckverhältnis	-	$\eta = \begin{cases} \eta_{crit} > \eta_0 \rightarrow \eta_{crit} \\ \eta_{crit} \leq \eta_0 \rightarrow \eta_0 \end{cases}$	0,528	
30	Ausflussfunktion	-	$\psi = \sqrt{\left( \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \left( \eta^{\frac{2}{\kappa}} \cdot \left( 1 - \eta^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right) \right) \right)}$	0,484	

## 9. Beispiel für eine Betriebsanweisung nach TRGS 555/ GefStoffV § 14

(Firma)	<b>1. BETRIEBSANWEISUNGSENTWURF</b>	<b>Nr.:</b> <b>Stand:</b> 09.03.2016 Unterschrift:
<b>GEFAHRSTOFFBEZEICHNUNG / TÄTIGKEIT / ARBEITSPLATZ</b>		
<b>Salzsäure, ab 10 % bis unter 25 %</b> gilt für: (Arbeitsplatz, Tätigkeit, ggf. Betrieb, Gebäude)		
<b>GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT</b>		
  <b>ACHTUNG</b>	<p>Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. (H290)          Verursacht Hautreizungen. (H315)          Verursacht schwere Augenreizung. (H319)          Kann die Atemwege reizen. (H335)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einatmen, Verschlucken oder Hautkontakt kann zu Gesundheitsschäden führen. Reizt die Atemwege, Augen, Haut. Kann den Magen-Darm-Trakt reizen. Vorübergehend Husten, Übelkeit, Riechstörung möglich. Kann Lungenschaden, Augenschaden, Zahnschaden, Nierenschaden, Magen-Darm-Beschwerden, Kehlkopfschwellung verursachen.</li> <li>- Reagiert mit starken Laugen unter heftiger Wärmeentwicklung. Reagiert heftig mit Natrium und Kalium. Heftigkeit und Gefährlichkeit der Reaktion sind abhängig von der Konzentration der Säure. Reagiert unter heftiger Wärmeentwicklung z.B. mit Aminen, Siliciumdioxid, Wasser. Bildet mit Kaliumpermanganat, Natriumhypochlorit (Bleichlauge) und konzentrierter Schwefelsäure gefährliche Gase und Dämpfe (z.B. Chlor, Chlorwasserstoff). Bildet mit Unedelmetallen gefährliche Gase und Dämpfe (Wasserstoff). Bildet mit Carbonaten gefährliche Gase und Dämpfe (Kohlendioxid). Bei der Reaktion entsteht Kohlendioxid: Berstgefahr durch Druckaufbau in geschlossenen Behältern! Bildet mit Stickoxiden gesundheitsgefährdende Gase und Dämpfe (Dichlordimethylether).</li> <li>- <b>WGK:</b> 1 (schwach wassergefährdend)</li> </ul>	
<b>SCHUTZMASSNAHMEN UND VERHALTENSREGELN</b>		
  	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei Dämpfen oder Nebeln Absaugung einschalten und in ihrem Wirkungsbereich arbeiten. Gebinde nicht offen stehen lassen! Beim Ab- und Umfüllen Verspritzen und Nachlauf vermeiden. Reaktionsfähige Stoffe fern halten bzw. nur kontrolliert zugeben. Beim Auflösen oder Verdünnen immer zuerst das Wasser und dann die Säure zugeben! Temperatur kontrollieren! Säurebeständige Hilfsgeräte verwenden! Arbeitsgeräte einsetzen, die Hautkontakt verhindern oder verringern.</li> <li>- Nicht Essen, Trinken, Rauchen oder Schnupfen. Einatmen von Dämpfen und Aerosolen vermeiden! Berührung mit Augen und Haut vermeiden! Vor jeder Pause und nach Arbeitende Hände und andere verschmutzte Körperstellen gründlich reinigen. Hautpflegemittel nach der Arbeit verwenden! Produktreste sofort von der Haut entfernen, Haut schonend reinigen und sorgfältig abtrocknen. Keinen Arm- oder Handschmuck tragen. Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren! Verschmutzte und durchtränkte Arbeitskleidung sofort wechseln. Separate Putzlappen und Reinigungstücher für Haut und Maschinen und Geräte verwenden.</li> <li>- Lagerbedingungen beachten!</li> <li>- Beschäftigungsbeschränkungen beachten!</li> </ul> <p><b>Vorratsmenge am Arbeitsplatz:</b></p> <p><b>Augenschutz:</b> Bei Überwachungstätigkeit: Gestellbrille mit Seitenschutz! Bei Spritzgefahr: Korbbrille!  <b>Handschutz:</b> Handschuhe aus: ... (Bitte wählen Sie aus dem GisChem-Datenblatt oder anderen Ihnen vorliegenden Informationen unter Berücksichtigung der Tätigkeit einen geeigneten Schutzhandschuh aus und geben diesen hier an.)          Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert!          Tragezeiten von Schutzhandschuhen beachten! Bei längerfristigem Tragen von Schutzhandschuhen: spezielle Hautschutzmittel vor der Arbeit verwenden.</p> <p><b>Atemschutz:</b> Kombinationsfilter E-P2 (gelb/weiß) oder Kombinationsfilter BE-P2 (grau/gelb/weiß).  <b>Körperschutz:</b> Beim Verdünnen oder Abfüllen: Kunststoffschürze!</p>	
<b>VERHALTEN IM GEFAHRFALL</b>		<b>Feuerwehr 112</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gefahrenbereich räumen und absperren, Vorgesetzten informieren.</li> <li>- Bei der Beseitigung von ausgelaufenem/verschüttetem Produkt immer Schutzbrille, Handschuhe sowie bei größeren Mengen Atemschutz tragen. Mit säurebindendem Material (z.B. Kalksteinmehl) aufnehmen, entsorgen und Reste mit Wasser wegspülen!</li> <li>- Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe (z.B. Chlorwasserstoff)! Entweichende Dämpfe mit Sprühwasser niederschlagen, anschließend möglichst schnelle Reinigung. Produkt ist nicht brennbar. Berst- und Explosionsgefahr bei Erwärmung!</li> <li>- Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation verhindern!</li> <li>- Alarm-, Flucht- und Rettungspläne beachten. Feuerwehr alarmieren.</li> </ul> <p><b>Zuständiger Arzt:</b>  <b>Unfalltelefon:</b></p>		
<b>ERSTE HILFE</b>		<b>Notruf 112</b>
	<p><b>Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme:</b> Auf Selbstschutz achten, ärztliche Behandlung. Lebensrettende Sofortmaßnahmen, wie 'Stabile Seitenlage', 'Herz-Lungen-Wiederbelebung', 'Schockbekämpfung' müssen situationsabhängig durchgeführt werden. Wunden keimfrei bedecken. Für Körperruhe sorgen, vor Wärmeverlust schützen.</p> <p><b>Nach Augenkontakt:</b> Sofort unter Schutz des unverletzten Auges ausgiebig (mind. 10 Minuten) bei geöffneten Lidern mit Wasser spülen.</p> <p><b>Nach Hautkontakt:</b> Verunreinigte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen, persönliche Schutzausrüstung tragen. Haut mit viel Wasser spülen.</p> <p><b>Nach Einatmen:</b> Verletzten aus dem Gefahrenbereich bringen. Frischluftzufuhr durch Einatmen von frischer Luft oder Beatmung. Beatmungshilfen benutzen (Selbstschutz). Sofort, auch bei fehlenden Krankheitszeichen, ein Dosiererosol (inhalatives Steroid) einatmen lassen. Dosierung, Art der Anwendung und weitere Behandlung nach betriebsärztlicher Anordnung!</p> <p><b>Nach Verschlucken:</b> Sofortiges kräftiges Ausspülen des Mundes. Wasser in kleinen Schlucken trinken lassen.</p> <p><b>Ersthelfer:</b></p>	
<b>SACHGERECHTE ENTSORGUNG</b>		

## 10. Literaturhinweise

1. <https://www.gischem.de> Gefahrstoffinformationssystem Chemikalien der BGRCI und der BGHM
2. <https://gestis.dguv.de/> GESTIS-Stoffdatenbank: Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
3. <https://www.kas-bmu.de/tras.html> TRAS 410: Erkennen und Beherrschen exothermer chemischer Reaktionen - Fassung 10/2012
4. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-555.html> TRGS 555 "Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten" (PDF-Datei, 98 KB)
5. [https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/Arbeiten-mit-Gefahrstoffen/Gefahrstoffverordnung/Gefahrstoffverordnung\\_node.html](https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/Arbeiten-mit-Gefahrstoffen/Gefahrstoffverordnung/Gefahrstoffverordnung_node.html) Gefahrstoffverordnung
6. Stoessel, F.: Thermal Safety of Chemical Processes: Risk Assessment and Process Design, Wiley-VCH-Verlag, Weinheim, 2008
7. Steinbach, J.: Chemische Sicherheitstechnik. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1995.
8. Steen, H.: Handbuch des Explosionsschutzes, Wiley-VCH-Verlag, Weinheim, 2000