

Die KOMB-Analyse am Beispiel einer Niedertemperaturentschwefelungsanlage

Bönig, S.; Heimannsfeld, K.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 180 befaßt sich das Teilprojekt A2 mit der wissenschaftlichen Fehler- und Störfallanalyse verfahrenstechnischer Maschinen. Im folgenden wird die Anwendung und die Rechnerunterstützung der am IMW entwickelten Analysemethode KOMB am Beispiel einer experimentellen Niedertemperaturentschwefelungsanlage vorgestellt.

The project A2 in the Sonderforschungsbereich 180 (Special Research Area) deals with knowledge based failure and hazard analysis. This paper presents the results of the developed analysis method KOMB applied to an experimental low temperature desulphurization plant.

1 Einleitung

Bei komplexen technischen Systemen, insbesondere bei verfahrenstechnischen Anlagen, deren Komponenten z.T. extremen thermischen, mechanischen und chemischen Belastungen ausgesetzt sind, ist eine Risikobegrenzung aufgrund der möglichen nachhaltigen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt erforderlich. Störungen des bestimmungsmäßigen Betriebes in solchen Anlagen können in Form von Bränden oder Explosionen zu Produktionsausfall, zur Zerstörung der Anlage mit Verletzten oder sogar Toten aber auch durch Stofffreisetzungen zu Umweltschäden und Verletzten außerhalb der Anlage führen.

Eine Unfallanalyse, bei der die Störfallursache ermittelt und ein erneutes Eintreten durch Einleiten entsprechender technischer und/oder organisatorischer Maßnahmen verhindert werden soll, ist notwendig und wichtig, reicht aber zur Risikobegrenzung allein nicht aus. Durch den Einsatz von prospektiven Analysemethoden, sog. Sicherheitsanalysen, sollen die Primärursachen möglicher Gefahrenquellen eines Systems im voraus identifiziert. Deren Auswirkungen sollen prognostiziert und gegebenenfalls Gegenmaßnahmen erarbeitet werden, um das verbleibende Restrisiko nochmals nachhaltig zu reduzieren.

Wie erfolgreich letztendlich eine Sicherheitsanalyse ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z.B.:

- der Komplexität des zu untersuchenden Systems,
- dem Einsatzzeitpunkt der Analyse,
- dem Informationsgrad zum Zeitpunkt der Analyse,
- dem „Handling“ der Informationen innerhalb der Analyse,
- der Organisation des Betriebes,
- die Erfahrungen der Analysten
- und der Konsequenz der Maßnahmenverfolgung.

Die Anforderungen, die an die Analysenmethode gestellt werden, sind hoch. Sie umfassen neben allgemeinen Aspekten wie z.B. Verständlichkeit oder Erweiterbarkeit der Analyse auch die Anpassung an die jeweilige Entwicklungsphase der Anlage, die Berücksichtigung anlagenspezifischer Besonderheiten (z.B. Einsatzstoffe, Automatisierungsgrad) und die Erfüllung von gesetzlichen Vorschriften und Pflichten /1/.

Der Gesetzgeber regelt seit der Einführung der Störfall-Verordnung 1981 (12. BImSchV) und deren Novellierung 1991, für welche Anlagen das Anfertigen und Fortschreiben einer Sicherheitsanalyse zur Pflicht wird. Er schreibt dem Anlagenbetreiber zwar den Umfang, jedoch keine konkrete Methode vor, um diese sog. Spezialpflicht zu erfüllen.

Als Analysemethoden können HAZOP /2/, Fehlerbaumanalyse /3/, Ereignisablaufanalyse/4/, FMEA /5/, MORT /6/ aber auch Checklisten u.a. /7/ einzeln oder gemeinsam eingesetzt werden. Die jeweiligen Vor- und Nachteile der verschiedenen Vorgehensweisen der Methoden werden in /1/ ausführlich beschrieben werden.

In /8/, S. 55 ff, und /9/ wurde eine modifizierte Analyse vorgestellt, die sog. KOMB-Analyse, die die positiven Aspekte der HAZOP ausnutzt. Dies sind z.B. das Auffinden von Fehlern/Störungen mit Hilfe von Leitwörtern, systematisches Abarbeiten von sicherheitsrelevanten Komponenten. Folgende Punkte wurden ergänzt:

- Verdeutlichung der Zusammenhänge zwischen Störungsursachen, deren Auswirkungen und dem Ort der theoretischen Störung,
- systematische Hilfe bei der Erarbeitung von Gegenmaßnahmen und deren Einbindung in das System,
- Bewertung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Gegenmaßnahmen und
- einfache Handhabbarkeit der Analyse mit Hilfe von vier ergänzbaren Formblättern.

Die praktische Anwendbarkeit der KOMB-Analyse wird am Beispiel einer Pilotanlage zur Niedertemperaturentschwefelung (SFB180 Teilprojekt B11), die am Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik installiert ist, untersucht.

2 Beschreibung der Anlage

In der Versuchsanlage wird ein feuchtes, SO_2 -haltiges Abgas erzeugt. Dieses wird mit durch die Zugabe von basischen Feststoffen durch Chemisorption bei Temperaturen $< 100^\circ\text{C}$ entschwefelt. Der Feststoff wird anschließend kontinuierlich durch einen Abreinigungsfilter vom Abgas getrennt, siehe dazu auch /9/.

Eine sicherheitstechnische Analyse ist an dieser Entschwefelungsanlage besonders angebracht, da es während des Versuchsbetriebs in der Vergangenheit immer wieder zu Störungen gekommen ist, die einen längeren kontinuierlichen Versuchsbetrieb unmöglich machten.

Die Primärursachen dieser Störungen lagen beispielsweise in Komponentenausfällen aufgrund der starken Agglomerationsneigung des Sorbens, Materialverschleiß (z.B. Dichtungen), fehlerhafter Montage, organisatorischen Fehlern. Auch unzureichender Systemkenntnis bezüglich der Einflußfaktoren auf Temperatur, Druck und relative Feuchte im Reaktor war eine Störungsquelle. Die Auswirkungen

gen der Störungen waren Verzögerung des Versuchsbeginns, Versuchsabbruch, geringe Entschwefelungsleistung der Anlage, niedrige Calci-umausnutzungsgrade aber auch hoher Reinigungsaufwand der Anlage (Feststoffentfernung). Bevor der Entschwefelungskreisprozeß durch eine zusätzliche Aufbereitungs- und Rückführungsstufe geschlossen wird, kann zu diesem Zeitpunkt eine Sicherheitsanalyse wertvolle Informationen hinsichtlich:

- der Erhöhung der Verfügbarkeit der Komponenten,
- des Verhaltens der Anlagenkomponenten im Versuchsbetrieb,
- der Auswirkungen des Komponenteneinsatzes auf die Gesamtanlage und das Entschwefelungsergebnis liefern.

Insbesondere die vom Institut für Maschinenwesen entwickelten Komponenten Feststoffinjektor und Feststoffabscheider sollen systematisch untersucht werden.

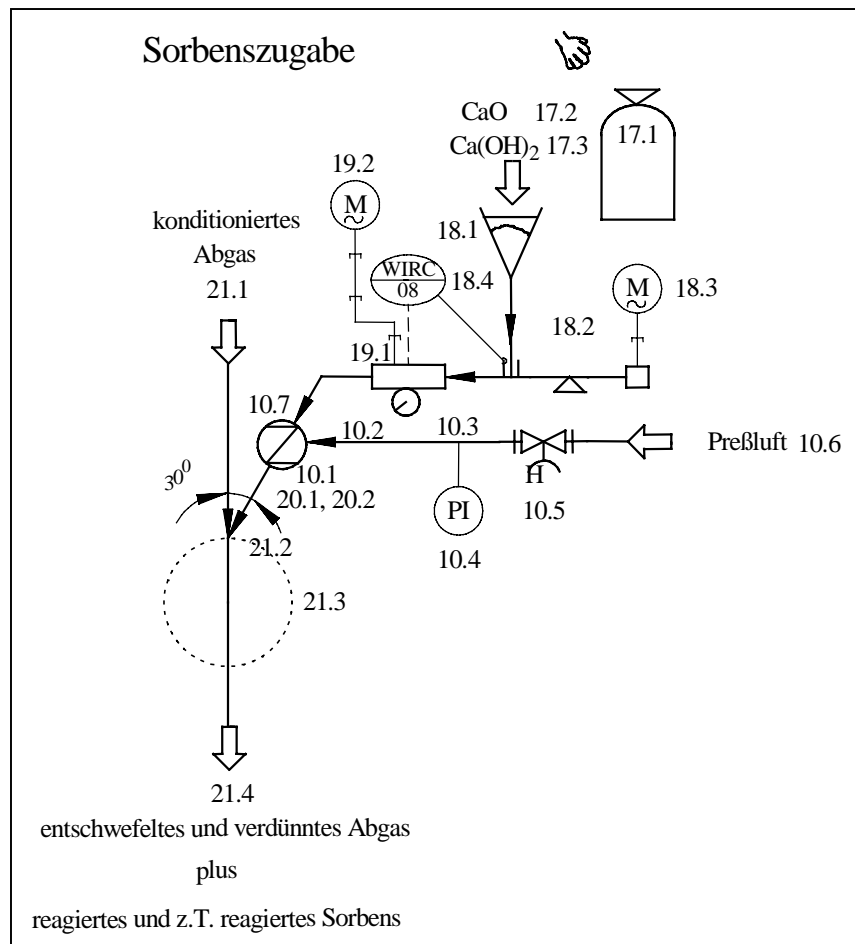


Bild 1: Fließbild des Teilsystems "Sorbenszugabe"

3 Vorgehen bei der KOMB-Analyse

Erstellung verfahrenstechnischer Fließbilder

In einem ersten Schritt wird das verfahrenstechnische Fließbild der Anlage dem aktuellen Stand der Entwicklung angepaßt (s. Bild 1). Insbesondere die Anfang des Jahres in Betrieb genommene Filterkammer inklusive der Abreinigungseinheit und die modifizierte Injektoreinheit werden in das Fließbild neu aufgenommen. In Zusammenarbeit mit dem Anlagenbediener werden Informationen über die Komponenten soweit wie möglich zusammengetragen, einschließlich Wartung und Bedienung beim An- und Abfahren der Anlage. (Zu diesem Zeitpunkt der Analyse ist bereits ein großes Informations- und Dokumentationsdefizit erkennbar.)

Unterteilung des Anlage in Teilsysteme

Die Anlage wird in die Teilsysteme Erdgasverbrennung, Abgaskonditionierung, Dampfzufuhr, SO₂-Zufuhr, Sorbenszugabe, Abgasaufbereitung und -analyse, Feststoffabscheidung und Abgasaustrag unterteilt. Diese Gliederung in selbständige Einheiten wurde vorgenommen, um die Durchschaubarkeit der Analyse während der Erstellung zu gewährleisten.

Numerierung der Anlagenkomponenten im Teilsystem

In Bild 1 ist das Teilsystem „Feststoffzufuhr“ mit seinen Komponenten K zu erkennen.

Die numerierten Komponenten sind hierbei Apparate, Maschinen oder Meßinstrumente. Darüber hinaus werden aber auch Einsatzstoffe, Hilfsstoffe oder Zustände des Produktes (Abgases) an bestimmten Orten der Anlage nummeriert, um diese bei der Analyse mit der entsprechenden Gewichtung berücksichtigen zu können. Komponente K 10.1 ist hier beispielsweise der Feststoffinjektor, K 10.2 die Druckluftleitung der Injektoreinheit, K 10.6 die zugeführte Preßluft und K 21.3 die Kontaktzone Abgas/Sorbens.

Die Höhe des Numerierungsgrades, d.h. inwieweit eine Komponente in Teilkomponenten untergliedert wird, ist allerdings neben der Sicherheitsrelevanz im System auch abhängig vom Informationsgrad und Verständnis der Komponenten. An dieser Stelle zeigt sich, daß das Wissen und die Erfahrung von Fachleuten unterschiedlicher technischer Disziplinen die Analyse von Beginn an entscheidend beeinflussen. Beim HAZOP-Verfahrens wird sogar die Zusammensetzung des Analysenteams in Ab-

hängigkeit des Einsatzzeitpunktes der Analyse vorgeschrieben.

Ermittlung der möglichen Störungen, deren Ursachen und Auswirkungen aller Komponenten K X:Y jedes Teilsystems

Für jede Komponenten K X.Y wird unter Berücksichtigung ihrer Funktion, d.h. ihrer Aufgabe im System, mit Hilfe der Leitworte des HAZOP-Verfahrens systematisch erarbeitet, welche Abweichungen, Störungen und Fehler während des Betriebs, aber auch beim An- und Abfahren sowie beim Warten der Anlage theoretisch auftreten könnten. In drei Punkten unterscheidet sich hierbei die KOMB- von der HAZOP-Analyse:

1. Die sieben Leitworte NEIN/NICHT, MEHR, WENIGER, SOWOHL ALS AUCH, TEILWEISE, UMKEHRUNG, ANDERS ALS dienen nur als Gedankenstütze beim Auffinden von Störungen und Fehlern. Abweichungen von der Funktion einer jeden Komponente werden wenn nötig detailliert z.B. durch Angabe des Temperatur- oder Druckbereiches, der Stellung eines Ventils o.ä., angegeben.
2. Auf das Definieren und anschließende (getrennte) Abarbeiten von "Sollfunktionen" im Sinn von HAZOP soll verzichtet werden, damit bei der Betrachtung des Systems sämtliche Betriebsphasen gleichwertig analysiert werden können. Änderungen der Anlage wie z.B. Ergänzungen und Wegfall von Komponenten sollen bei KOMB auf diese Weise leichter zu integrieren sein.
3. Die Analyse erfolgt komponentenweise und nicht, wie beim HAZOP-Verfahren, für jedes Teilsystem geordnet nach Leitworten.

Beispielsweise werden für den Feststoffinjektor K 10.1, der den Feststoff in vollständig dispergierter Form dem Reaktor kontinuierlich zuführen soll, als Störungen angegeben:

- S 10.1;1 vollständiges Aussetzen der Dispergierung
- S 10.1;2 Dispergierung unvollständig (nicht alle Agglomerate werden zerstört)
- S 10.1;3 Dispergierung, aber ungleichmäßiges Einbringen in den Reaktor

Für jede Störung S x.y;n werden mögliche Ursachen U x.y;n und deren Auswirkungen A X:Y;n ermittelt. Bei der Erarbeitung der Störungsauswirkungen sind sowohl Störungseinwirkungen auf die je-

1	2	3	4	5	6	7
Komponente	Funktion	Störungen	Ursachen	Auswirkungen	Maßnahmen	Störung beseitigt Ja/Nein
K 20.2 Injektor- halterung	Zentrale Positionierung und Fixierung des Injek- tors im Stutzen	S 20.2;1 Injektorhalte- rung mit feuchten Parti- keln verschmutzt	U 20.1;1	A 10.1;10 A 20.2;1		
			U 20.2;1	A 10.1;10 A 20.2;1		
K 20.3 Abreini- gung	Beseitigung der Fest- stoffansammlung im Stu- zen während des Anla- genbetriebes	S 20.2;2 Verschiebung des Injektors	U 20.2;2	A 10.1;12 A 10.1;10 A 10.1;13 A 10.1;3		
			U 20.1;1	A 10.1;14 A 10.1;10 A 10.1;3		
		S 20.3;1 Abreinigungs- ring stark mit Partikeln verschmutzt	U 20.1;1	A 10.1;14 A 10.1;10 A 10.1;13 A 10.1;3		
			U 20.1;2	A 10.1;14 A 10.1;10 A 10.1;13 A 10.1;3		

Tabelle 1: Auszug aus Formblatt 1 (Teilsystem "Sorbenszugabe")

weilige Komponenten, auf Funktion und Zustände der nachfolgende und angrenzende Komponenten, aber auch auf den Anlagenbetrieb und den Anlagenbediener zu berücksichtigen.

Z.B. kann die Störung S 13.4;1 Filterschlauch undicht (Partikeldurchtritt) die folgenden beiden Ursachen haben:

- U 13.4;1 Verschleiß durch zu häufiges und intensives Abreinigen,
- U 13.4;2 Beschädigung (von außen /von innen) bei Montage

Die Auswirkungen dieser Störung mit der Ursache U 13.4;1 sind beispielsweise:

- A 13.1,1 Partikel gelangen auf Reingasseite,
- A 13.4;1 keine vollständige Abscheidung des Feststoffs möglich,
- A 13.4;2 Verschmutzung nachfolgender Anlagenteile durch Feststoff,
- A 13.4;3 Ersatz für Filterschlauch erforderlich,
- A 13.4;4 keine automatische Auslösung der Abreinigung, da Abreinigungsdruck nicht erreicht wird.

Liegen gleiche Ursachen vor, so erhalten sie in der Analyse identische Nummern, gleiches gilt für die Auswirkungen. Durch „und“-Angaben bei der Beschreibung der Ursache lassen sich Störungen aufdecken und angeben, die nur durch ein gemeinsa-

mes Auftreten mehrerer Fehler, sog. Common-Mode-Fehler, hervorgerufen werden. Kommen andererseits mehrere Ursachen für eine Störung in betracht, so werden sie generell durch zwei unterschiedliche Nummern dokumentiert, für die die Auswirkungen anschließend getrennt ermittelt werden.

Der Detaillierungsgrad der Auswirkungen spielt bei der weiteren Analyse hinsichtlich Aussage und Aufwand eine wichtige Rolle. Einerseits bietet es sich aus Gründen der Übersichtlichkeit an, gleichzeitig auftretende Auswirkungen unter einer Nummer zusammenzufassen, um anschließend Ereignisabläufe anhand ihrer Reihenfolge sichtbar zu machen. Andererseits kann beim Zusammenfassen der Auswirkungen aufgrund der möglichen Kombinationsmöglichkeiten der Dokumentationsaufwand erheblich erhöht werden, was nachteilige Auswirkung auf die Nachvollziehbarkeit der Analyse mit sich bringt. Bis zur Lösung dieses Optimierungsproblems mit Hilfe von EDV werden nur die grundsätzlichen Auswirkungen einer Störung dokumentiert. (s. **Tabelle 1**)

Die bisher ermittelten Ergebnisse werden für jedes Teilsystem in einem Formblatt (Formblatt 1) in den Spalten 1 bis 5 dokumentiert.

Erarbeitung von Gegenmaßnahmen

Bevor sinnvolle Gegenmaßnahmen erarbeitet werden können, müssen sämtliche Ursachen und

Auswirkungen in einer Matrix, Formblatt 2, gegeneinander aufgetragen werden (siehe **Tabelle 2**).

Im System wird nun ersichtlich, welche Auswirkungen aufgrund einer einzelnen Störungsursache (In der Tabelle durch ein X gekennzeichnet) hervorgerufen werden können. Ursachen, die zu besonders schwerwiegenden unerwünschten Ereignissen führen, sind somit aufgrund der hohen Summe der horizontal angeordneten Kreuzen in der Matrix sofort ersichtlich. Gerade für diese Fälle ist es sinnvoll, einen Ereignisablauf von der Störungsursache über die Art und den Ort (durch die Nummer ersichtlich) der Störung bis hin zu den zeitlich geordneten Auswirkungen darstellen zu können. Beispielsweise führen die Ursachen U 18.2;1 (Feststoff ist feucht und schlecht förderbar) oder auch U 20.1;1 (Abreinigungsintervalle während Versuchsbetrieb zu groß) zu unerwünschten Ereignissen mit einer Vielzahl von negativen Auswirkungen auf das System.

Bei der Erarbeitung von Gegenmaßnahmen sind diese Ursachen primär zu beseitigen. Wenn dies nicht möglich ist, ist ihre Eintrittswahrscheinlichkeit zu reduzieren. Andererseits kann durch eine vertikale Betrachtungsweise der o.g. Matrix gezeigt werden, welches die Ursachen für eine bestimmte Auswirkung sein könnten (ODER-Verknüpfungen). Bei einer hohen Anzahl vertikaler Kreuze sind Maßnahmen zur Auswirkungsbeseitigung bzw. Beschränkung besonders notwendig.

Erstellung der Ursachen-Komponenten-Matrix

In einer Ursachen-Komponenten-Matrix (Formblatt 3) werden alle Ursachen gegen sämtliche Komponenten aufgetragen. Aufgrund der Anzahl von

Kreuzen in einer Spalte wird ersichtlich, welche Komponenten K im System besonders störanfällig sind. Hier kann dann unter Umständen eine Umkonstruktion oder eine redundante Auslegung notwendig werden. Außerdem kann das Aufzeigen der an einer Störungsursache beteiligten Komponenten Mithilfe beim Ausarbeiten der Maßnahmen bieten.

Ist es möglich, Maßnahmen zur Ursachenbekämpfung zu finden, die technischen aber auch organisatorischen Ursprungs sein können, so werden diese im Formblatt 1 (s. **Bild 1**) dokumentiert und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bewertet. Dabei bedeutet:

VB: vollständige Beseitigung der Störungsursache durch Einleitung von Maßnahmen,

TB: teilweise Beseitigung der Störungsursache durch Einleitung von Maßnahmen,

NB: Maßnahmen werden vorgeschlagen, die Störungsursache läßt sich aber nicht beseitigen

Sicherlich ist die Maßnahmenbeurteilung z.T. objektiven Einflüssen ausgesetzt, bei Zweifeln sollte deshalb immer die nächst niedrigere Wirksamkeitsstufe gewählt werden. Nur so läßt sich verhindern, daß als „vollständig beseitigt“ gewerteten Ursachen bei der Anlage nicht mehr auftreten.

Überarbeitung der Ursachen-Auswirkungen-Matrix (Formblatt 2)

Alle Ursachen, die durch vorgeschlagene Maßnahmen vollständig beseitigt werden können, werden in der Ursachen-Auswirkungen-Matrix eliminiert, so daß deren Umfang sowohl in der Anzahl der Ursachen aber auch z.T. in der Anzahl der

		Auswirkungen									
Ursachen	A 10.1;1	A 10.1;2	A 10.1;3	A 10.1;4	A 10.1;5	A 10.1;6	A 10.1;7	A 10.1;8	A 10.1;9	A 10.1;10	
U 10.1;1	X	X	X								
U 10.1;2	X	X	X	X							
U 10.1;3	X				X	X					
U 10.1;4	X				X	X	X				
U 10.1;5	X		XX		X			XX	X		
U 10.1;6	X	X	X								
U 10.1;7		XX							X	XX	
U 10.1;8					X				X		
U 10.1;9			X						X		
U 10.1;10			X					X		X	

Tabelle 2: Auszug aus der Ursachen-Auswirkungen-Matrix (Formblatt 2)

Auswirkungen reduziert werden kann.

Grundvoraussetzung für jede Überarbeitung der Formblätter ist jedoch, daß die vorgeschlagenen Maßnahmen nicht nur theoretisch möglich, sondern auch technisch, organisatorisch und finanziell umsetzbar sind und realisiert werden können.

Beispiel

Als eine mögliche Störung der Komponenten K 10.7 (Feststoffrohr) wird in S 10.7;2 angenommen, daß die Verbindungsstelle zwischen dem Feststoffrohr K 10.7 und dem Injektor(einsteckrohr) K 10.1 Undichtigkeiten aufweist. Diese Störung (S 10.7;2), die im Versuchsbetrieb bereits aufgetreten ist, hat unabhängig von der Ursache einen Partikelaustritt an der Verbindungsstelle zur Folge (A 10.7;2). Zwei mögliche Ursachen werden für diese Störung verantwortlich gemacht: ein Montagefehler des Feststoffrohres (U 10.7;3) oder ein undichtetes Gewinde (U 10.7;4). Beide Ursachen lassen sich mit Hilfe der Maßnahme (10.7;3 vor Einbau des Injektors, Überprüfung der Dichtigkeit, evtl. Teflonband verwenden) vollständig beseitigen, so daß letztendlich die Störung „undichte Verbindungsstelle“ nicht auftreten kann. Der Ereignisablauf ist somit bei diesem Beispiel bereits von Anfang an durch Eingreifen von Maßnahmen erfolgreich gestoppt worden.

Erstellung der Auswirkungen -Komponenten - Matrix (Formblatt 3):

Werden die Auswirkungen gegenüber den Komponenten aufgetragen, so wird erkennbar, welche Komponenten nach Störungseintritt an der Störungsursache durch Funktionsabweichungen beteiligt sind. Zusammenhänge bezüglich des Gesamtsystemverhaltens, wie z.B. die Notwendigkeit einer redundanten Auslegung oder zusätzlicher Kontrollorgane, können auf diese Weise sichtbar werden. Diese Informationen können in den Maßnahmen integriert werden.

Schlußfolgerungen hinsichtlich der Anlagensicherheit:

Mit Hilfe der KOMB-Analyse können zum jetzigen Entwicklungsstand der Anlage wichtige Detailinformationen hinsichtlich:

- Aufgabe und Verhalten der eingebauten Komponenten im System,
- Reaktionen der Gesamtanlage bei Abweichungen verschiedener Verfahrensparameter, bei Ausfall von einzelnen oder mehreren Kompo-

nenten z.B. durch Fehlbedienungen des Anlagenpersonals,

- potentieller Gefahrenquellen

mit ihren möglichen Ursachen und Auswirkungen aufgezeigt und dokumentiert werden, wobei das eigentliche Ziel der Analyse in der Ausarbeitung und Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen zu sehen ist.

Die erarbeiteten Maßnahmen differieren in Art, Aufwand, Durchführungszeitpunkt und Kosten. Sie lassen sich unterteilen in:

1. konstruktive Änderungen von Komponenten
 - M 13.1;5 für Um-/Neukonstruktion der Filterkammer: Nut für Dichtringe in Zwischenboden vorsehen
2. Zusatz von Komponenten (redundante Auslegung)
 - M 10.1;16 Fertigung und Einbau eines Ersatzinjektors, evtl. mit Halterung
 - M Notaus für Anlage auf Empore!
3. Wegfall von Komponenten
 - M 21.1;5 Zusatzheizungen in Betrieb nehmen, um Kondensat aus Anlage zu beseitigen
4. Wechsel des Wirkortes von Komponenten,
 - M 21.1;25 Thermoelement in Reaktor weiter nach oben versetzen
5. Isolierung von Komponenten
 - M 14.2;1 staub- und stoßgeschütztes Gehäuse für Motor, Versorgungsleitungen führen!
6. Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Komponenten vor Inbetriebnahme,
 - M 13.1;6 beim Anfahren der Anlage Filterkammerheizung in Betrieb nehmen und Funktionsfähigkeit überprüfen.
7. Überwachung von Komponenten während Anlagenbetrieb
 - M 15.8;1 Kontrolle der Abreinigungswirkung (der Filterkammer) über Druckverlustverlauf
8. Hinweise, Vorschriften und Checklisten zum Bedienen und Warten von Komponenten
 - M 14.1;1 Betrieb der Zellschleuse erst nach ausreichender Trockenzeit des Feststoffs im Bunker (Erfahrungswert)
9. Checklisten zur Ursachenfindung bei Störungseintritten
 - M 10.1;13 nach Bemerkungen, SO₂-Zufuhr stoppen, Ursache nach Checkliste 1 prüfen und beheben ⇒ Versuch wiederaufnehmen
10. Maßnahmen zum Gewährleisten eines sicheren Anlagenbetriebes
 - M 21.1;17 erreicht Anlagendruck Umgebungsdruck, Alarm in Warte und sofortige Unterbrechung der SO₂-Zufuhr und Feststoffzufuhr

11. Maßnahmen zum Beheben von eingetretenen Störungen

M 10.1;14 Injektor mit Preßluft kurz durchpusten => Versuch wiederaufnehmen

12. Maßnahmen zur Begrenzung der Störungs- auswirkungen

M 21.3;2 Bei Bemerkungen, sofort Dampfzufuhr unterbrechen und evtl. bis zum Beheben der Störung Bypass vollständig öffnen zur Erhöhung der Abgastemperatur

13. Maßnahmen zur Erhöhung der Arbeitssicherheit

M X.Y;m beim Reinigen feststoffverschmutzter Komponenten Schutzhandschuhe verwenden

14. organisatorische Maßnahmen

M 18.2;4 sämtliche Versuchsdaten für einen Versuchstag für Anlagenbediener schriftlich festhalten

4 Handhabbarkeit der Analyse

Das Ausfüllen des Formblatts 1 bleibt selbst bei einer hohen Anzahl an Komponenten übersichtlich und leicht ergänzbar. Auf einen Blick kann das Ergebnis der Analyse nachvollzogen werden. Als Nachteil wurde allerdings erkannt, daß bei einer

ausführlichen und umfassenden Analyse die resultierenden Formblätter 2 (Ursachen-Auswirkungen Matrix) und 3 (Auswirkungen-Komponenten Matrix) schnell unübersichtlich und zu groß werden. Wird die KOMB Methode manuell durchgeführt, so werden die Daten schnell inkonsistent und kaum nachvollziehbar. Da alle wesentlichen Informationen bereits in Formblatt 1 vorhanden sind, wurde eine Softwarelösung zur Durchführung der KOMB-Analyse implementiert. **Bild 2** zeigt die Benutzerschnittstelle der KOMB Software. Im *KOMB Browser* werden alle Informationen aus Formblatt 1 dargestellt. Dazu werden die Komponenten, die Sollfunktionen, die Störungen, die Auswirkungen sowie die Gegenmaßnahmen in einer hierarchischen Struktur dargestellt.

Die Formblätter 2, 3 und 4 (siehe /1,8,9/) werden automatisch aus den im KOMB Browser vorhandenen Informationen generiert. Das untere Fenster in **Bild 2** stellt die Ursachen-Auswirkungen Matrix dar. Derzeit wird eine bidirektionale Kopplung aller Formblätter getestet. Damit kann der Benutzer Änderungen nicht nur im KOMB Browser durchführen, sondern kann auch in den Formblättern 2, 3 und 4

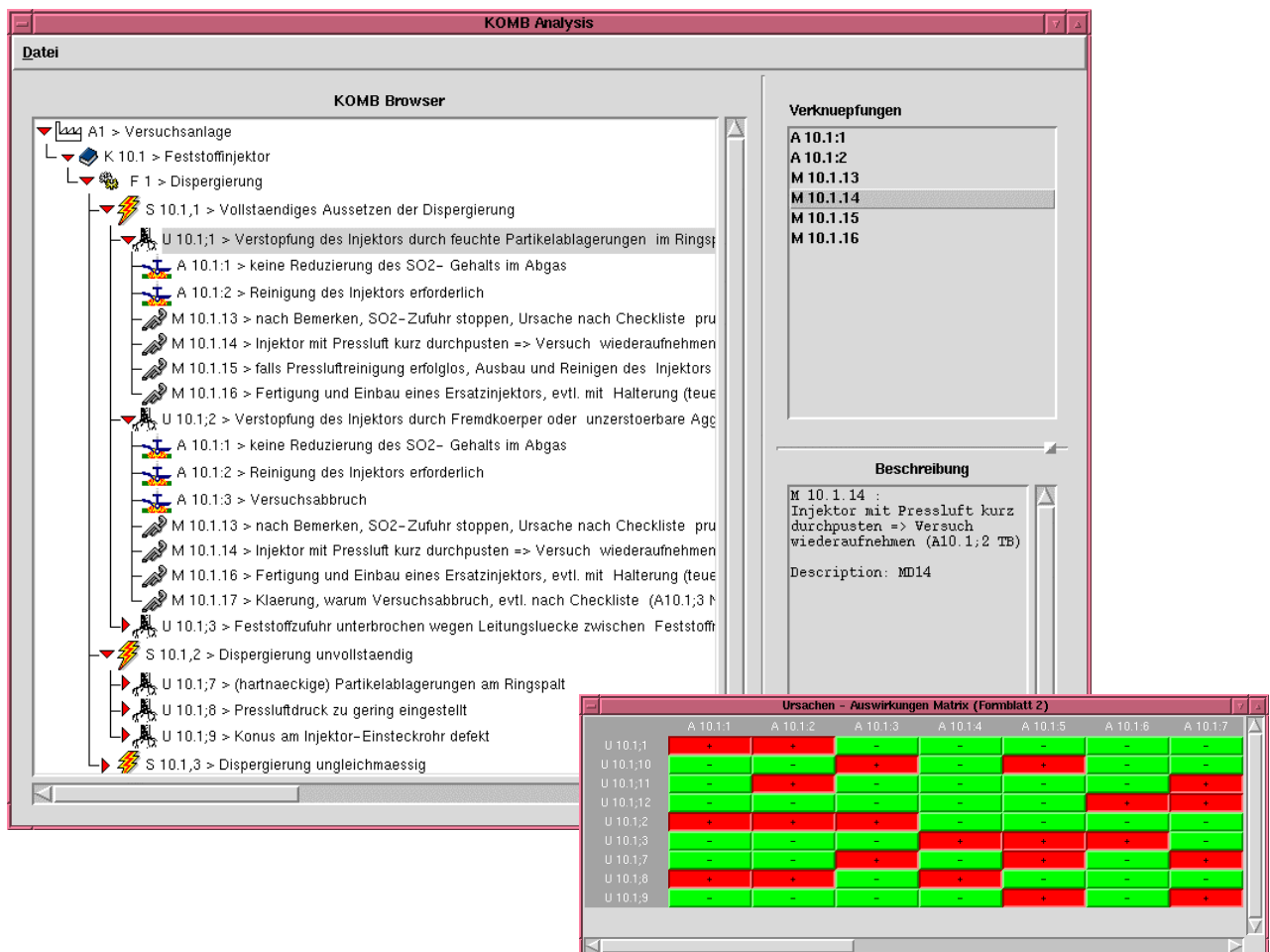


Bild 2: Softwareimplementierung zur KOMB Analyse

Eingaben und Änderungen direkt vornehmen. Neben der einfacheren Handhabung bieten sich mit der realisierten Rechnerunterstützung auch weitergehende Funktionen, wie beispielsweise eine automatische Clusteranalyse der Formblätter 2, 3 und 4, an.

Das Programm befindet sich derzeit in der ersten Phase der Entwicklung und soll zukünftig in vielen Bereichen erweitert werden. Vorgesehen ist insbesondere die Integration einer Datenbank, so daß der Benutzer auf bereits vorhandene Komponenten, Funktionen und damit verbundene Störungen und Maßnahmen zurückgreifen können. Die Realisierung und Integration einer wissensbasierten Beratungskomponente wird ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt des nächsten Jahres sein.

5 Zusammenfassung

Die hier vorgestellte Anwendung der KOMB Analyse und deren Ergebnisse, die in Teilaspekten beispielhaft erläutert wurden, hat gezeigt, wie wichtig präventive Fehleranalysen gerade in der Entwicklung neuer innovativer Maschinen für die Verfahrenstechnik sind. Da sich die Pilotanlage schon seit geraumer Zeit in der Erprobung befindet, wurden reale Störfälle und vorhergesagte Störfälle verglichen. Eine übergreifendes Bild kann schwer ermittelt werden, da nur einzelne Teilsysteme untersucht wurden. Es kann aber festgehalten werden, daß die meisten in der Prozeßentwicklung aufgetretenen Probleme durch die Anwendung der KOMB Analyse erkannt, systematisiert und dokumentiert wurden. Damit bieten sich präventive Störfallanalysen wie z.B. die KOMB Analyse auch als effizientes Werkzeug zur systematischen Lösungsfindung bei der Konstruktion verfahrenstechnischer Maschinen an.

6 Literatur

/1/ Bönig, S.: Konzeption einer Methode zur sicherheitsgerechten Planung und Kontruktion verfahrenstechnischer Anlagen, Diplomarbeit, TU Clausthal, 1994

/2/ Bartels, K.; Hoffmann, H.; Rossinelli, L.: Risikobegrenzung in der Chemie, PAAG-Verfahren (HAZOP), Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie, Heidelberg 1990

/3/ DIN 25424 Teil 1: Fehlerbaumanalyse- Methode und Bildzeichen, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1985

/4/ DIN 25419 Ereignisablaufanalyse- Verfahren, graphische Symbole und Auswertung, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1985

/5/ DIN 25448 Ausfalleffektanalyse- (Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse), Beuth Verlag GmbH, Berlin 1990

/6/ Frei, R.: MORT Ein Sicherheitskonzept, Frei (Selbstverlag), Winterthur 1979

/7/ Mattke, U.; Scheil, M.: Gefährdungsanalyse, Katastrophenschutz in Arbeitsstätten, Vogelbusch 60. Erg.-Lfg. 11/95

/8/ Bönig, S.; Heimannsfeld, K.: KOMB-A new approach to hazard analysis in plant design, Institutsmittteilung Nr. 22 (1997)

/9/ Bönig, S.; Heimannsfeld, K.: A comparison of hazard analysis methods in plant design, 1st Internet Conference on Process Safety, <http://www.prosicht.com/conference>, 1998

/10/ Bönig, S.; Klemp, E.; Roman, M.: SIMDES - Verfahrenstechnische Behandlung des Sorbens in einer Niedertemperaturrauchgasentschwefelungsanlage, Institutsmittteilung Nr. 22 (1997)