

WIRKUNG DER ELEMENTE VIRTUELLER REALITÄT BEI HAVARIETRAINING UND SCHULUNG

· *Prozesssicherheit · Havarietraining · Schulung · Prozesssimulation · virtuelle Realität*

ZUSAMMENFASSUNG

Anwendung eines Prozesses aus der täglichen Praxis, richtige Wiedergabe der zeitlichen Abläufe und realitätsnahe Reaktionen der simulierten Anlage auf die Eingriffe des Teilnehmers sind die wichtigsten Parameter für eine effiziente Verwendung der Elemente virtueller Realität in Simulatoren.

PRAKTISCHE RELEVANZ

Training und Ausbildung von Operatoren in der chemischen Industrie mit Hilfe von Simulatoren reduzieren das Risiko hoher Verluste, die durch vermeidbare Havarien entstehen können. Die Ausbildung selbst ist oft mit beachtlichen Kosten verbunden. Studium der Effizienz der Elemente virtueller Realität ermöglicht es, die Entwicklung von Trainingssimulatoren zu optimieren.

EFFICACITÉ DE L'UTILISATION D'ÉLÉMENTS RÉELS VIRTUELS DANS LES FORMATIONS ET LES ENTRAÎNEMENTS À LA RÉCUPÉRATION D'INCIDENTS

· *Sécurité des processus · entraînement à la récupération d'incidents · simulation de processus · réalité virtuelle*

RESUME

Lors de l'utilisation d'un processus en dehors de son contexte, la reproduction exacte des contraintes de temps et des réactions du système aux actions des opérateurs sont les paramètres les plus importants à reproduire. C'est la condition nécessaire à une utilisation efficace de la réalité virtuelle dans les simulations.

IMPORTANCE PRATIQUE

L'entraînement et la formation, à l'aide de simulations, des opérateurs de l'industrie chimique, réduit le risque de dommages qui pourraient résulter de certains incidents. L'entraînement lui-même est souvent coûteux. L'étude de l'efficacité de différents éléments réels virtuels permet d'améliorer les systèmes d'entraînement à la récupération d'incidents.



THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS VIRTUAL REALITY ELEMENTS IN INCIDENT TRAINING COURSES

· *Process Safety* · *Incident Training* · *Process Simulation* · *Virtual Reality*

SUMMARY

The technique of dynamic simulation is increasingly used in teaching, instruction and incident training of the plant personnel in the chemical industry. The basic task of the simulation is to calculate the time dependent course of all relevant variables that characterise the real process. For the efficient training of the plant personnel an additional feature of the simulation becomes important, namely, the presentation of the results. It was found that the training efficiency can be significantly increased, when working with the simulator reproduces the daily experience of the trainee with his real process. An ideal training simulation system confronts the trainee on the computer screen with virtual reality, which in relevant aspects is indistinguishable from the appearance of his working place and from the behaviour of the plant he is in charge of.

However, the development of a simulator that provides true and detailed virtual reality for a large number of different chemical processes is a demanding and expensive task. There are many facets of virtual reality, such as the depth and accuracy of the mathematical model used, the visual appearance of the control panel, or the possibility of a spatial view from the angle of a moving observer. For practical applications it was necessary to investigate, which features of virtual reality are most important for the training of plant personnel. Based on the experiences with the simulation system ISIS, the impact of various features of the simulator on the efficiency of the training was evaluated. It was found that the choice of the simulated process, the visual representation of dynamic variables and the response of the model to the actions of the trainee are most influential.

The mathematical model, chosen for the training of plant operators should be generally identical with the process they are trained for. Using the same names of materials, the same basic properties of the equipment and having similar process behaviour shortens the time required for initial familiarisation of the simulator. It was also observed that even teaching some phenomena that are common to many different chemical reactions (e.g. the conditions that trigger a runaway reaction) is much more efficient when presented in terms of familiar circumstances. Thus, the participants displayed significantly increased attention when confronted with a situation that they considered to be a potential problem of „their“ own process, compared with the presentation of the same situation on a „text-book“ example or on an unknown reaction. The repetition of the same instructional material at a later time indicated also that the acquired knowledge was obviously remembered much better, compared to classical teaching methods.

For the development of a suitable mathematical model that represents the reality of the participants it is not necessary to elaborate every detail of the process; the accuracy of the different parts can be adjusted dependent on the goals of the training. Higher educated personnel, such as safety specialists or plant managers, showed higher flexibility with respect to the chosen process. When presented by

some „foreign“ reaction, they could more easily project the newly acquired knowledge onto their process.

For the visual representation of the control panel great attention must be paid to the instruments that capture the time dependent variables, e.g. recorders. Many plant operators observe the form of the recorded curves and use them as an important criterion to determine the state of the plant. Already the application of different axis scales can cause confusion. The shape of the simulated instruments, on the other hand, is only of insignificant importance. Use of round instead of rectangular meters, digital or analogue displays are readily accepted.

Often similar difficulties are displayed by supervisors and plant managers when they evaluate time dependent variables having different scales.

Also important for efficient training are the expected responses of the simulator to the actions of the plant operator. If the model behaves in a familiar way the trainee accepts the virtual reality as the representation of his plant. The instructor can easily check the surveillance abilities of the operator by introducing small disturbances. For this purpose the mathematical model has to be sufficiently accurate. Deviations in the behaviour of the model from reality usually disturb the progress of teaching, because they are often interpreted as potential failures. In some cases, however, an observed difference between the expected and simulated behaviour can lead to better understanding of the process by the instructor or development chemist who supplied the data for the mathematical model. In general, the plant operators are usually fairly sensitive to unexpected reactions of the plant. This could be trained for early detection of potentially dangerous situations.

The method of dynamic simulation offers also a possibility of a new form of virtual reality. The simulator can provide information on variables that are usually difficult or impossible to measure, like the concentration of unstable intermediate products, the heat production of individual reactions in a complex reaction mechanism or the course of extremely fast processes.

Currently available hardware and software tools enable the accomplishment of efficient virtual reality at reasonable effort and expenses. The training with the simulator can reduce costs of the education. Careful choice of the elements of the virtual reality supports the optimal development of a training simulator.

PRACTICAL RELEVANCE

Training and instruction of plant personnel in the chemical industry with help of simulators reduces the risk of losses caused by unnecessary incidents. The training itself is often expensive. The study of the effectiveness of various virtual reality elements enables the efficient development of incident training systems.

1 PROBLEMSTELLUNG

Für die Ausbildung und Schulung der Anlagefahrer in der chemischen Industrie werden zunehmend Simulationsprogramme angewandt. Ein wichtiger Bestandteil der Simulation ist die Präsentation der Übungssituation in einer Form, welche der Teilnehmer als realitätsnah wahrnimmt. Eine virtuelle Realität entsteht, wenn auf dem Bildschirm Instrumente, Bedienungselemente und weitere Kommunikationsmittel abgebildet werden, die sowohl das gleiche visuelle Aussehen wie auch das gleiche Verhalten aufweisen, wie die entsprechenden Teile der realen Bedienungsumgebung. Der Anwender erlebt dabei die vom Computer angebotene Darstellung als eine Realität, die sich von seiner Erfahrung der täglichen Praxis nur unwesentlich unterscheidet. Gemäss Erfahrungen, die mit dem Simulator ISIS gesammelt wurden, erhöht die Simulation mittels virtueller Realität wesentlich die Effizienz der Schulung auf dem Gebiet thermischer Gefahren chemischer Prozesse und ermöglicht ein praktisches Havarietraining (Hub 1997). Die Zeit zur Einführung in das Übungsthema konnte verkürzt werden, die Teilnehmer zeigten eine erhöhte Aufmerksamkeit und berichteten über für sie neuartige Erkenntnisse, die sie bei der Übung gewonnen hatten. Die Lehrkräfte und Vorgesetzten erwähnten eine dauerhafte Einprägung der erlebten Erfahrungen (Bergamin 1997).

Der Einsatz von Elementen der virtuellen Realität stellt erhöhte Ansprüche an die

Leistungsfähigkeit und Flexibilität der verwendeten Simulatoren. Die Programme müssen in der Lage sein, anspruchsvolle detaillierte Prozesse mathematisch abzubilden. Die Programmierung der Prozesse muss sehr flexibel sein, damit für jeden Teilnehmer sein Prozess und seine Bedienungsfläche eingegeben werden kann. In der Praxis wird darum nur eine Annäherung der virtuellen Realität an die reelle Situation realisiert. Es stellt sich die Frage, welche Genauigkeit der virtuellen Realität anzustreben ist, um mit vertretbaren Mitteln eine optimale Wirkung zu erreichen.

2 UNTERSUCHUNGSMETHODE

Das Incident Simulation System ISIS ermöglicht es, virtuelle Realität in verschiedenen Formen und unterschiedlicher „Qualität“ zu realisieren (Hub 1999, Firmenliteratur der Firma SCI, Holeeholzweg 75, CH-4102 Binningen, Schweiz). Seit der Einführung des Simulators in der Praxis im Jahre 1995 wurden in mehreren Firmen und Institutionen Havarietrainings und Schulungen durchgeführt (Sommer 1998; Sommer & Hub 1999). Je nach Aufgabenstellung wurde dabei die Darstellung der Simulation mit unterschiedlichem Aufwand realisiert. Als Beispiel wurden die Resultate für Spezialisten nur mit einfachen Mitteln, wie Zahlenwerten, Tabellen und Diagrammen in einer Standardform dargestellt. Für Schulungszwecke mit höheren pädagogischen Ansprüchen wurden dagegen getreue Nachbildungen der Bedienungselemente angestrebt. Als

Nebenprodukt wurden die Erfahrungen mit der Auswirkung der erreichten Qualität der virtuellen Realität auf die Effizienz der Schulung gesammelt. Das Material konnte bisher nicht quantitativ ausgewertet werden und wird in diesem Beitrag als qualitative Feststellungen, begleitet von Beispielen, präsentiert. Die Resultate sind trotzdem aussagekräftig, weil nur solche Befunde angegeben werden, welche wiederholt beobachtet wurden. Die in den Abschnitten 3 bis 5 zusammengefassten Beobachtungen wurden während des Havarietrainings mit Anlagefahrern gesammelt. Unterschiedliche Reaktionen anderer Anwendergruppen, wie z.B. Betriebsleiter, werden im Abschnitt 6 diskutiert.

3 VISUELLE KOMPONENTEN

In diesem Abschnitt wird die Wirkung des optischen Erscheinungsbildes der simulierten Arbeitsfläche evaluiert.

3.1 Sehr einfache Mittel

Eine rudimentäre Form der virtuellen Realität kann bereits bei den herkömmlichen Präsentationsmethoden angewandt werden. Gestützt auf die Erfahrungen mit dem Havarietraining wurden Unterlagen für eine seit Jahren auf konventionelle Art durchgeführte Schulung im Bereich der thermischen Sicherheit umgearbeitet. Die Teilnehmer zeigten eine erhöhte Aufmerksamkeit und schnelleres Begreifen des Stoffes, wenn Diagramme (z.B. Innen- und Manteltemperaturverlauf im Reaktor als Funktion der Zeit) auf gleiche Art und vor allem im gleichen Maßstab (Skalenbereich) angefertigt wurden, wie die Instrumente oder Bildschirme im Betrieb aufwiesen.

3.2 Approximative virtuelle Realität

Unter Anwendung von graphischen Objekten aus der Bibliothek des Softwaresystems G2 wurden mehrere Versionen eines Schaltpultes für verschiedene Havarietrainings realisiert. Die Simulation erreichte dadurch bereits eindeutig den Charakter einer virtuellen Realität, obwohl das echte Erscheinungsbild nur annähernd wiedergegeben wurde. Ein Beispiel einer solchen Trainingsoberfläche zeigt Bild 1.

Trotz der visuell nur unvollkommenen Simulation war die Akzeptanz der dadurch erreichten virtuellen Realität sehr hoch. Zusammen mit dem weitgehend getreuen Verhalten des

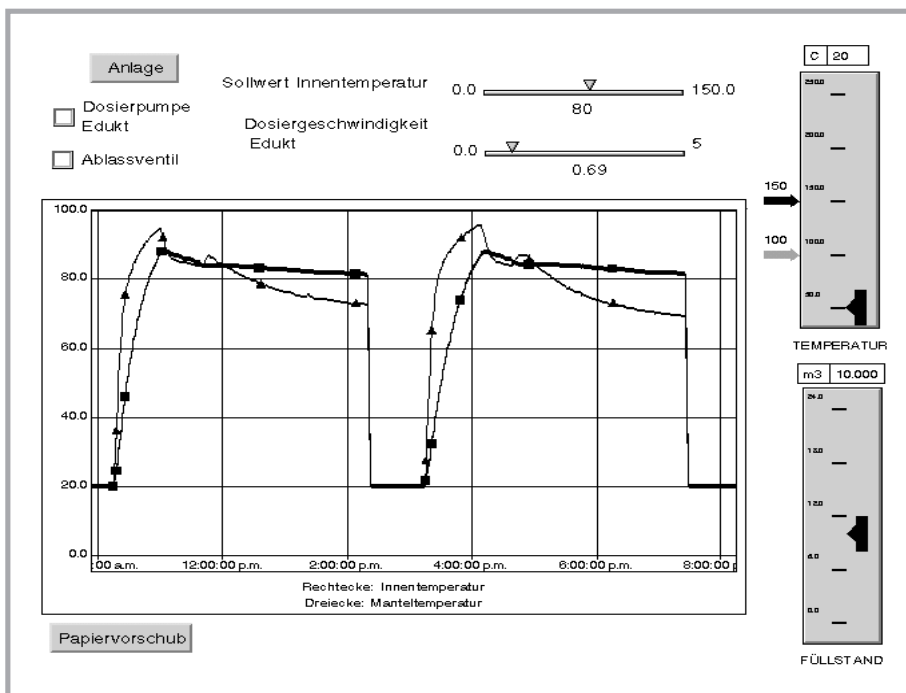


Bild 1: Ausschnitt aus einem simulierten Schaltpult mit visuell annähernder virtueller Realität

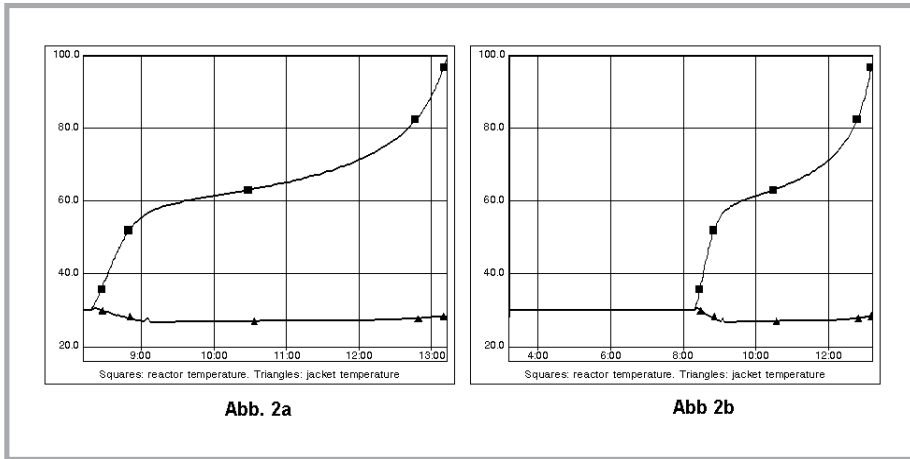


Bild 2: Darstellung eines identischen Prozesses in zwei unterschiedlichen Skalierungen

mathematischen Modells (Abschnitt 5) wurde das Havarietraining sowohl von den Lehrkräften wie auch von den Teilnehmern sehr positiv bewertet (Bergamin 1997).

Besonders leicht wurden statische Elemente akzeptiert. Das Aussehen der Bedienungsorgane wie Druckknöpfe, Schalter und Instrumente, welche nur den aktuellen Wert anzeigen, konnten von dem Original ohne eine merkbare negative Auswirkung weitgehend abweichen. Als Beispiel konnten die rechteckigen Anzeigeelemente, wie in Bild 1, problemlos durch runde Geräte ersetzt werden.

Graphische Elemente, die einen zeitlichen Verlauf festhalten, stellen deutlich höhere Ansprüche. Offensichtlich orientieren sich die meisten Anlagefahrer nach dem visuellen Erscheinungsbild der Kurven auf den Schreibern oder Diagrammen. Als Beispiel

sind in Bild 2 zwei simulierte Schreiber dargestellt. Im Bild 2b ist der Bereich der Zeitskala (horizontal) doppelt so groß wie in Bild 2a. Obwohl der Verlauf der registrierten Temperaturen identisch ist, bereitete die veränderte Skalierung den meisten Teilnehmern Probleme und führte auch zu einer deutlich unterschiedlichen Beurteilung der Situation.

3.3 Weitgehende oder vollkommene virtuelle Realität

Der Simulator ISIS kann durch eine online Verbindung direkt an die Bedienungsfläche im Betrieb gekoppelt werden, z.B. über eine Bridge zum Profibus System. Dadurch entsteht im visuellen Bereich und in der Bedienung eine vollständige virtuelle Realität. Im Grenzfall kann der Teilnehmer nicht unterscheiden, ob er die reelle Anlage bedient, oder mit dem Simulator verbunden

ist. Ein Beispiel einer solchen Lösung ist in Bild 3 sichtbar.

Eine beinahe vollständige virtuelle Realität entsteht, wenn auf dem Bildschirm eines Off-Line Computers die reelle Bedienungsfläche hinterlegt ist, auf der dann die simulierten Bedienelemente positioniert sind. Das resultierende Erscheinungsbild ist dem in Bild 3 sehr ähnlich.

Beide Varianten erhöhen weiter die Akzeptanz der Simulation und verkürzen die Einführungsphase eines Havarietrainings. Allerdings erfordert eine visuell sehr wahrheitsgetreue virtuelle Realität eine sehr genaue mathematische Modellierung des Prozesses. Gutes visuelles Nachbilden des Steuerpultes kombiniert mit einem von der Realität abweichenden Verhalten der Anlage führt zu Verunsicherung der Teilnehmer und vermindert die Effizienz der Ausbildung.

4 GEWÖHNUNG DER SCHULUNGSTEILNEHMER AN DEN ZU ÜBENDEN PROZESS

Die Anlagefahrer brauchen eine relativ lange Zeit dazu, sich mit einem unbekanntem chemischen Prozess vertraut zu machen. Dies wurde bereits bei der Anwendung herkömmlicher Schulungsmethoden beobachtet. Die im Abschnitt 3.1 beschriebene Erfahrung zeigte sich auch bei der Wahl der Schulungsbeispiele für Havarietraining. Die Teilnehmer konnten deutlich schneller mit der eigentlichen Übung anfangen, wenn der Lehrstoff auf Basis des ihnen vertrauten Prozesses aufgebaut wurde. Umgekehrt wurde berichtet, dass in einer Applikation eines Simulators bis ca. 80 Prozent der für die Schulung verfügbaren Zeit zum Einarbeiten der Teilnehmer in den für sie fremden Prozess aufgewendet werden musste (Etter & Lehmann 1999). Die virtuelle Realität entfaltet ihre volle Wirkung erst dann, wenn sie eine vertraute Realität darstellt.

5 VERHALTEN DES SIMULIERTEN PROZESSES

Ein Anlagefahrer erkennt sein Bedienungspult am visuellen Aussehen und seinen Prozess an den Reaktionen der simulierten Anlage auf seine Aktionen und an dem Verlauf der registrierten Variablen. Das Verhalten des Simulators ist für die Wirkung der virtuellen Realität ausschlaggebend.

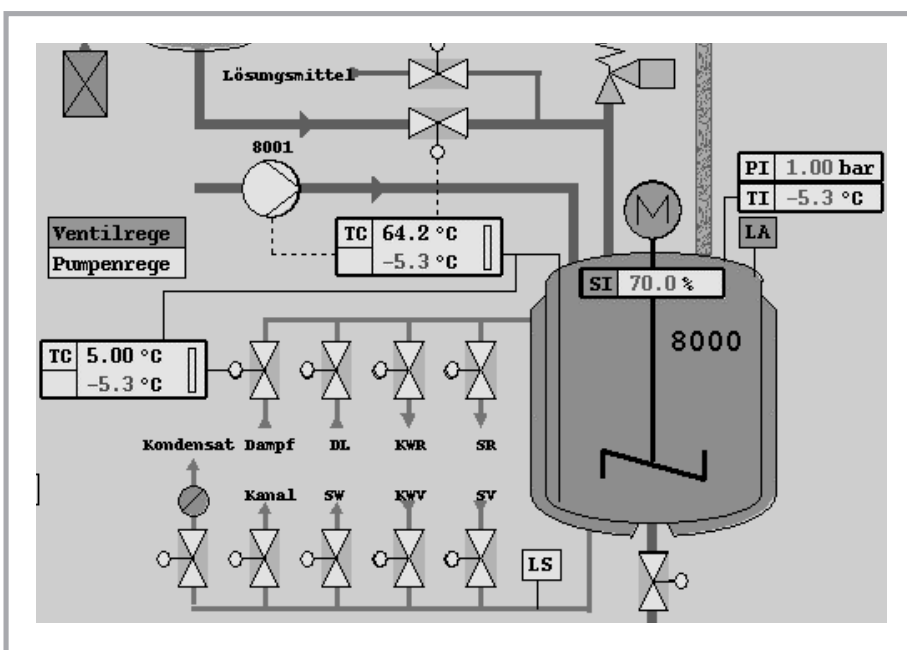


Bild 3: Ausschnitt einer Bedienungsfläche in einer Simulation mit visuell vollkommener virtueller Realität



5.1 Grobe Annäherung des Verhaltens

Eine Simulation, die von der gewohnten Realität des Operators deutlich und in mehrfacher Hinsicht abweicht, wirkt ähnlich wie eine Darstellung eines Schulbuchbeispiels. In der Regel betrachten die Übenden ein für sie unübliches Verhalten des simulierten Prozesses als eine potentielle Störung und widmen sich dieser Problematik. Wenn sie wiederholt von dem Instruktor angewiesen werden, dass dies nur den von der Realität abweichenden Eigenschaften des Simulators zuzuschreiben ist, ignorieren sie später möglicherweise die Anzeichen der von dem Instruktor für das Training vorbereiteten Havariesituation.

5.2 Weitgehend getreues Verhalten der virtuellen Realität

Eine Simulation, die mit der Erfahrung des Teilnehmers übereinstimmt, oder nur wenige kleinere Abweichungen aufweist, entfaltet das volle Potential eines Havarietrainings. Die Angewöhnungszeit verkürzt sich auf wenige Minuten und der Lernprozess ist sehr effizient. Die verbleibenden Abweichungen des Modells gegenüber der Erfahrung bringen oft Gelegenheit für wertvolle Erkenntnisse.

Als Beispiel können die zwei Abläufe eines simulierten Prozesses in Bild 1 dienen. Bei den ersten Übungen wurde in das mathematische Modell der Wert des Wärmeübertragungskoeffizienten durch die Reaktorwand gemäss den Angaben des Herstellers eingegeben. Der Verlauf der Innen- und Manteltemperatur entsprach den Kurven auf der linken Seite des simulierten Schreibers in Bild 1. Die meisten Operatoren wiesen auf ein für sie leicht ungewöhnliches Verhalten der Anlage hin. Dies gab Anlass zur Überprüfung der Parameter und resultierte in der Feststellung, dass die Kühlflächen des Betriebsreaktors seit längerer Zeit nicht gereinigt wurden. Die Korrektur führte zum simulierten Temperaturverlauf wie auf der rechten Seite des Schreibers in Bild 1. Diese wurde durch die Operatoren als der Realität entsprechend wahrgenommen. Dieses Beispiel demonstriert die Beobachtungsfähigkeit der Anlagefahrer und ihre Detailkenntnisse des bestimmungsgemäßen Ablaufes. Dahinter liegt ein wertvolles Potential zur frühzeitigen Entdeckung unerwünschter Zustände.

Ein weitgehend getreues Verhalten der Simulation ist unumgänglich auch bei Situati-

onen, welche für die Operatoren neu sind oder nur selten vorkommen.

In Bild 4 ist ein simulierter Schreiber mit zwei Aufzeichnungen von Innen- und Manteltemperatur eines Reaktors dargestellt. Die linke Aufzeichnung widerspiegelt eine Havarie, hervorgerufen durch den Kühlausfall im Refluxkondensator. Als Folge der ungenügenden Kühlung entwich das Lösemittel aus dem Reaktor und der Füllstand nahm ab. Da der Fühler für die Messung der Innentemperatur im Stromstörer des Rührsystems installiert war, tauchte er beim abnehmenden Inhalt im Reaktor immer weniger in die Flüssigkeit ein. Das zufallsbedingte Anspritzen des Fühlers führte zum fluktuierenden Signal. Auf den niedrigeren Wert des Temperatursignals reagierte der Regler durch erhöhtes Heizen und nach dem Verdampfen des Lösemittels wurde eine Runaway Reaktion ausgelöst. Die meisten Operatoren hielten dieses Verhalten für eine Störung des Messsystems oder für eine Fehlfunktion des Schreibers. Das typische Aussehen der registrierten Temperaturen bei einer Fehlfunktion des Schreibers ist auf der rechten Seite im Bild 4 ersichtlich. Das Verhalten des Prozesses muss darum bis zu solchen Details, wie das zufallsbedingte Anspritzen des Messfühlers, genügend getreu simuliert werden.

6 ANFORDERUNGEN AN DIE QUALITÄT DER VIRTUELLEN REALITÄT FÜR LEITENDES PERSONAL

Die Anwendergruppe der Betriebsleiter, Entwicklungschemiker und Sicherheits-

spezialisten reagiert ähnlich wie die Operatoren auf die visuelle Darstellung dynamischer Vorgänge. Die im Abschnitt 3.2 festgehaltene Reaktion auf eine graphische Darstellung wie in Bild 2 wurde auch bei ihnen beobachtet.

Demgegenüber können sich Personen mit allgemein höherer Ausbildung schneller in einen für sie fremden Prozess einarbeiten und Abweichungen von der Realität leichter verarbeiten. Für diese Anwendergruppe kann ein Havarietraining anhand von verallgemeinerten Schulbuchbeispielen mit genügender Effizienz durchgeführt werden.

Als eine neuartige virtuelle Realität kann die Visualisierung von Variablen bezeichnet werden, die in der Regel nicht direkt gemessen und darum auch nicht in der Echtzeit aufgezeichnet werden können. Als einige Beispiele aus den zahlreichen Möglichkeiten können der Verlauf der Konzentration eines instabilen Zwischenproduktes, die Wärmeleistung von einzelnen Reaktionen in einem komplexen Reaktionsmechanismus oder eine in der Zeitlupe verfolgte thermische Explosion dienen. Die Darstellung von bisher unbekanntem Abläufen ermöglicht oft eine neue, bessere Einsicht in den Prozess.

Bild 5 zeigt als Beispiel den Verlauf einer Havarie. Während einer Polymerisationsreaktion wurde ein Anstieg der Temperatur im Reaktor (Kurve mit Rechtecken) beobachtet. Da gleichzeitig die Manteltemperatur (Kurve mit Dreiecken) zurückgegangen war, wurde angenommen, dass das Kühlsystem korrekt arbeitete und die Havarie durch einen unerwünschten chemischen Vorgang ausgelöst worden war. Es war aber bekannt,

Bild 4: Temperaturverlauf bei zwei unterschiedlichen Ursachen für das fluktuierende Signal: Zu kleine Menge Lösemittel und eine Fehlfunktion des Schreibers

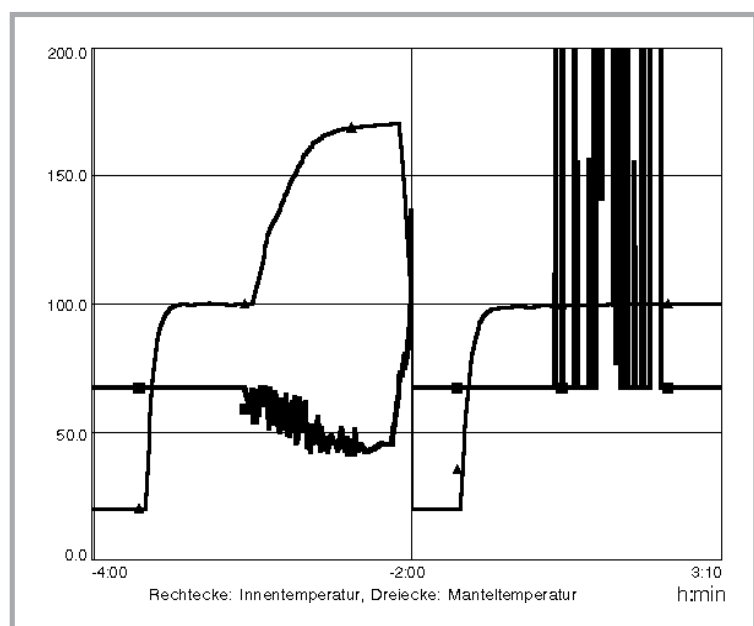
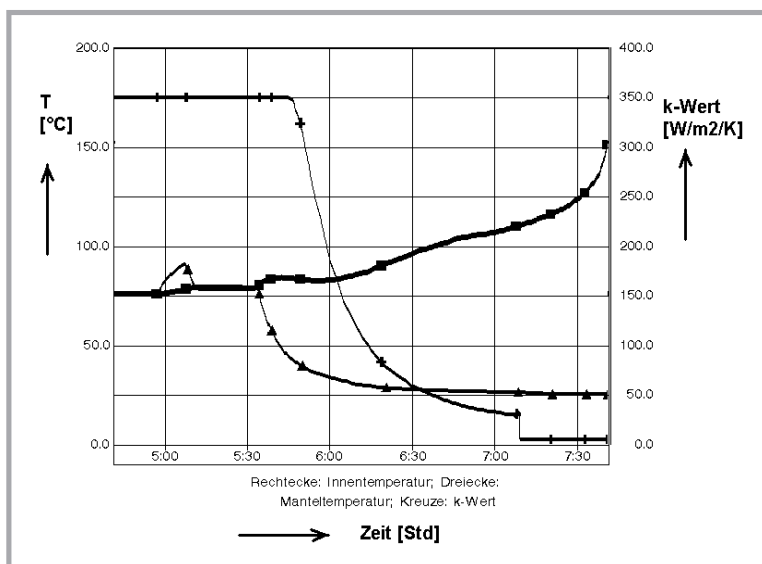




Bild 5:
Verlauf der
Temperaturen und
des k-Wertes
während einer
Polymerisation



dass bei niedrigeren Wandtemperaturen das Polymer an den Kühlflächen „ausfriert“. Die dadurch verursachte Verminderung des Wärmedurchgangskoeffizienten (Kurve mit Kreuzen) zeigt, dass die Kühlleistung infolge der isolierenden Schicht (die Dicke der Schicht wurde auch berechnet, ist aber im Bild 5. nicht dargestellt) stark abnahm und die eigentliche Ursache der Havarie war. Später stellte dazu der Rührer ab (Sprunghafte Abnahme des k-Wertes) und erst dann kam es zu der Runaway Reaktion.

treue Wiedergabe der zeitlichen Abläufe und ein realitätsnahes Verhalten des simulierten Prozesses.

Eine „abstrakte“ virtuelle Realität in der Form der Darstellung von den in der Praxis nicht direkt beobachtbaren Variablen ermöglicht eine neuartige Einsicht in die Prozesse.

Eine genügend wirksame virtuelle Realität kann mit einem vertretbaren Aufwand realisiert werden.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Elemente der virtuellen Realität tragen entscheidend zu der Effizienz der Schulung bei. Die wichtigste Rolle spielt dabei die

LITERATUR

Bergamin E.: Abschlussbericht über die Ausbildungserfahrungen von Mitarbeitern in der Chemischen Industrie mit dem PC-Trainings-

programm "Explosan", Chemie Plus 3, S. 31-32 1997

Etter, J.; Lehmann, H.: Foxboro Simulation "Methanolsynthese" und "Rektifikation", Interner Bericht der Firma Novartis Pharma AG Basel 1999

Hub, L.: Erfahrungen mit Simulationen thermischer Prozesse beim Havarietraining, während Sicherheitsstudien und in der Schulung, 17. Int. Kolloquium IVSS, Frankfurt 1997

Hub, L.: Simulator für Havarietraining und sicherheitstechnische Untersuchungen chemischer Prozesse, Chem.-Ing.-Tech. (71) 4199, S. 406-408 1999

Sommer, J.: Simulation gefährlicher Prozesszustände - Ausbildung von Anlagefahrern bei der BG Chemie, Chem.-Ing.-Tech. 70, 9, S. 1188 1998

Sommer, J.; Hub, L.: Sicherheitskonzepte validieren und optimieren, das Sicherheitsbewusstsein schärfen: Simulation von Batchprozessen mit ISIS, Technische Überwachung Bd. 40, Nr. 6, S. 37-40 1999

ANSCHRIFT DES VERFASSERS

PD Dr.-Ing Ludwig Hub
Safety Consulting Institute
Holeeholzweg 75
CH-4102 Binningen
E-Mail: sci@onthenet.ch