SAMSON

Kennwerte und Einsatz von Ventilen in der Prozessindustrie entsprechend IEC 61508/61511

Sonderdruck aus
„atp – Automatisierungstechnische Praxis"
Jahrgang 47 · Heft 2 · 2005

Verfasser:
Thomas Karte, Eugen Nebel (SAMSON AG)
Manfred Dietz, Helge Essig (Infraserv Höchst)

Kennwerte und Einsatz von Ventilen in der Prozessindustrie entsprechend IEC 61508 / 61511

Thomas Karte, Eugen Nebel (SAMSON AG) und Manfred Dietz, Helge Essig (Infraserv Höchst)

Bei der Auslegung von Sicherheitskreisen in der Prozessindustrie ist die IEC 61508 beziehungsweise IEC 61511 anstelle der DIN 19250 zu berücksichtigen. Die im Sicherheitskreis eingesetzten Stellventile sind von großer Bedeutung und oft der dominierende Faktor bei der Bestimmung des erreichten Zuverlässigkeitsgrades (SIL - safety integrity level) der gesamten Sicherheitskette (SIF - safety instrumented function). Für die wichtigsten anderen Elemente der Sicherheitskette, den Sensor und die Steuerung, gibt es inzwischen eine Vielzahl von Geräten mit belegten Charakteristika zur Ausfallwahrscheinlichkeit. Diese Daten stehen für Stellventile bisher nur in Einzelfällen zur Verfügung, da statistische Nachweise aufgrund der Vielfalt an Prozessbedingungen, die in der chemischen Industrie vorkommen können, schwierig zu erfüllen sind. Der Artikel beschreibt die zu Grunde liegende Untersuchungsmethodik für eine Baureihe von Stellventilen. Aufgrund dieser ermittelten Daten, seiner geplanten Anlagenstruktur und einer genauen Analyse des eigenen Prozesses kann der Anwender den erreichten SIL festlegen.

IEC 61508/IEC 61511/Stellventil/Zuverlässigkeit/Proven in use/SIL

Reliability data and the use of control valves in the process industry in accordance with IEC 61508 / 61511

IEC 61508 and IEC 61511 are the relevant standards for the specification and design of safety-related control loops in the process industry. Control valves used in these loops play a key role when it comes to determining the Safety Integrity Level (SIL) of the Safety Instrumented Function (SIF). A wide variety of sensors and PLCs, the other key components in the safety loop, are available with validated data concerning their probability of failure. However, this sort of data is only available for a limited number of control valves as statistical proof is difficult to obtain due to the multitude of process conditions that exist in the chemical industry. This paper describes the investigation method used for a series of control valves. The user can determine the SIL achieved using this investigation data, the planned plant structure, and an exact analysis of the process.

IEC 61508/IEC 61511/control valve/reliability/Proven in use/SIL

1. Anforderungen an die Ventiltechnik

Die IEC 61508 ist die gültige Norm für Sicherheitstechnik, die Anwendung auf die Prozessindustrie wird in der IEC 61511 beschrieben. Basierend auf einer Analyse der möglichen Gefahren und Risiken müssen Maßnahmen ergriffen werden, die das verbleibende Risiko auf ein akzeptables Maß reduzieren. Unter anderem können Sicherheitsfunktionen (SIF) installiert werden, die einzelne, definierte Gefahrenzustände verhüten oder abwenden. Diese sind insgesamt Teil des SIS (safety instrumented system), das getrennt vom BPCS (basic process control system) instrumentiert wird. Etwa 2 % bis 4 % aller Armaturen einer typischen Chemieanlage sind Teil einer SIF. Eine typische Sicherheitskette (Bild 1), beispielsweise zum Abschalten einer Leitung, umfasst einen Sensor, eine Sicherheitssteuerung und ein Stellventil, dieses im allgemeinen ausgerüstet mit pneumatischem Antrieb und Magnetventil als Schnittstelle zur Steuerung. Für die Auslegung dieser Sicherheitskette und die Auswahl entsprechender Geräte muss der Anwender sowohl strukturelle Betrachtungen als auch quantitative Berechnungen der Zuverlässigkeit durchführen und dokumentieren. Daraus resultieren Fragen an den Hersteller bezüglich der Charakteristika für Ausfallwahrscheinlichkeiten seiner Produkte.

Als Ergebnis dieser Betrachtungen wird eine Sicherheitskette in ihrer Gesamtheit mit einem bestimmten SIL bewertet. Diese

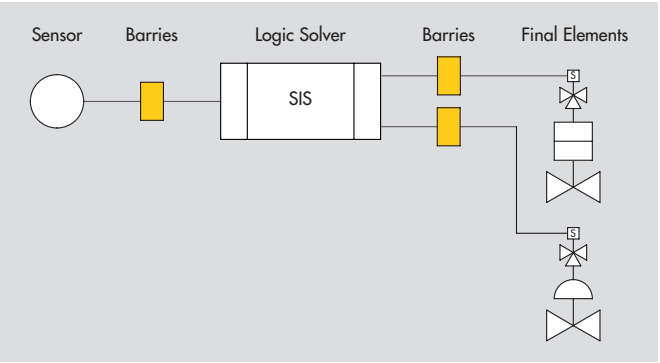


Bild 1: SIF Sicherheitskette

Table 1: Minimum hardware fault tolerance of sensors and final elements and non-PE logic solvers.	
SIL	**Minimum hardware fault tolerance (see 11.4.3 and11.4.4)**
1	0
2	1
3	2
4	Special requirements apply (see IEC 61508)

schließt die Leistungsfähigkeit aller Teile der Kette ein. Im allgemeinen wird hier das Stellventil als dominierend angesehen, gefolgt vom Sensor. Die Steuerung, obwohl von komplexem Aufbau und aus zahlreichen Einzelkomponenten bestehend, hat die besten Kennwerte bezüglich Ausfallwahrscheinlichkeit. Der Grund liegt in den genau definierten Umgebungsbedingungen, die Steuerung wird in der Warte und nicht im Feld betrieben. Sensoren und mehr noch das Stellventil sind als Feldgeräte jedoch den Umgebungs- und Prozessbedingungen ausgesetzt. Können Umgebungsbedingungen über die Definition von Temperatur, Feuchtigkeit, Vibration, eventuell noch Korrosivität der Atmosphäre beschrieben werden, so sind die Prozessbedingungen noch wesentlich komplexer und schwieriger zu charakterisieren. Statistische Aussagen sind wegen der hohen Varianz nur schwer zu treffen.

Entsprechend sind Daten für Stellventile nicht allgemein verfügbar. So weist beispielsweise die „Safety automation equipment list" unter WWW.EXIDA.COM eine Vielzahl von Sesnsoren, Barrieren, Steuerungen und andere Geräte auf, unter der Rubrik Ventile sind aber lediglich 3 Hersteller (Stand Oktober 2004) gelistet, davon einzig SAMSON mit Ventilen zur allgemeinen Anwendung in der Prozesstechnik. Ein Blick in die entsprechende Datenbank – bei EXIDA ist diese im sogenannten Silvertool enthalten – gibt sehr niedrige Ausfallwahrscheinlichkeiten für diese Ventile an. Aus Veröffentlichungen ist ein weiterer Fall für Anwendungen bei Brennersteuerungen bekannt und vorgesehen für die Medien Gas und Öl [1].

Im folgenden soll der Hintergrund der Datenermittlung und der erreichten Kennwerte erläutert werden. Weiterhin wird diskutiert, unter welchen Voraussetzungen der Anwender diese Zahlen für seinen Prozess und zur Bestimmung des SIL einer ganz bestimmten Sicherheitskette verwenden kann.

Kennwerte für die Zuverlässigkeit können entsprechend IEC 61508 und IEC 61511 auf zwei Wegen ermittelt werden.

- Durchführung einer FMEDA (failure modes effects and diagnostics analysis, [2]): Dieses Verfahren ist insbesondere für Neukonstruktionen von Interesse. Hierbei wird das zu prüfende Produkt hinsichtlich aller Komponenten und Betriebszustände untersucht, alle möglichen Fehlermechanismen werden aufgeführt und hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit und Diagnosemöglichkeit bewertet.
- Prior use: Dieses Verfahren wird in IEC 61511 beschrieben, basierend auf den allgemeinen Erläuterungen der IEC 61508 (proven in use). Es werden nicht durch theoretische Betrachtung Vorhersagen über das Verhalten eines Gerätes gemacht, sondern der Einsatz unter ähnlichen Bedingungen wird retroperspektiv bewertet, aus den gemachten Erfahrungen werden die erforderlichen Kennwerte abgeleitet.

Wegen der Vielzahl unterschiedlicher Bedingungen in den einzelnen Anwendungen ist der zweite Weg (Prior use) für Anwendungen in der Prozessindustrie von großer Wichtigkeit. Prinzipiell sollten die Basisdaten eines solchen Verfahrens vom Anwender kommen. Der Gedankengang ist dem in der deutschen Chemie üblichen Begriff der Betriebsbewährung durchaus ähnlich. Die Übertragung der Einsatzerfahrungen aus der allgemeinen Mess- und Regeltechnik auf die zahlenmäßig kleinere Population der Sicherheitsventile in SIFs ist von der Norm ausdrücklich vorgesehen (IEC 61511-1 clause 11.5.3). Die Bedeutung des „Prior Use" wird in der IEC 61511 noch besonders hervorgehoben. In der Tabelle 1, IEC 61511-1 wird eine Hardware Fault Tolerance (HFT) in Abhängigkeit vom gewünschten SIL vorgegeben. Die Hardware Fault Tolerance definiert, ob die sicherheitsrelevante Funktion auch noch bei Eintritt eines oder mehrer Fehler gegeben ist. Diese sehr einschneidende Forderung wird für „Prior Use" Ausrüstung vereinfacht, die Hardware Fault Tolerance kann um eins vermindert werden. (IEC 61511 Clause 11.4.4). Wichtig für die Anwendung der Daten ist die Gleichheit der Prozessbedingungen. Schwierigkeiten einer entsprechenden Untersuchung [2] liegen in

- der erforderlichen hohen Zahl an Betriebsstunden
- trotz der daraus resultierenden hohen Population im Feld muss eine umfassende und lückenlose Erfassung der Ausfälle sichergestellt sein
- Eine konsistente und reproduzierbare Klassifizierung der Fehler ist erforderlich, menschliche Einflüsse sind auszuschalten

Diese Anforderungen machen es einem kleinen oder mittleren Betrieb fast unmöglich, entsprechende Kennwerte selber zu ermitteln. Anders ist die Situation in der Großchemie. Fachkenntnisse über Instrumentierung sind in der zentralen Ingenieursabteilung gesammelt, Design aber auch Reparaturen und Instandhaltungen werden hier zentral koordiniert und in ebenfalls zentralen Werkstätten abgearbeitet. Die Dokumentation der durchgeführten Arbeiten bezüglich Installation, Wartung, Schadensfälle, Reparatur wird oft auf sogenannten Lebenslaufkarten festgehalten.

2. „Prior Use“ Betrachtung am konkreten Beispiel

Den in der „Safety Automation Equipment List“ aufgeführten Daten der Ventile der SAMSON AG liegt eine Untersuchung der ehemaligen Hoechst AG zugrunde. Aus der Hoechst AG ist der Industriepark Höchst (Bild 2) hervorgegangen, einer der führenden europäischen Forschungs- und Produktionsstandorte für die Chemie und Pharmaindustrie. 22000 Beschäftigte arbeiten hier in ca. 100 Produktionsanlagen, die Palette der Verfahren reicht von Pharmaproduktion bis zu Pigmenten und anderen. Infraserv Höchst versorgt die über 80 ansässigen Unternehmen mit infrastrukturellen Leistungen. Die Eckpunkte dieser Untersuchung waren:

- Ein langer Untersuchungszeitraum von 6 Jahren (1996 – 2002)
- Eine sehr hohe Population von ca. 40000 Stellventilen im ständigen Einsatz im Werk Höchst
- Die lückenlose Erfassung aller Ausfälle wurde durch interne Verfahrensanweisungen sichergestellt. Die zentrale Mess- und Regeltechnik als Eigentümer der in den einzelnen Betrieben eingesetzten Ventile führte die Befundung und Reparatur aller Schadensfälle im gesamten Werk durch
- Vor Beginn der Untersuchung wurde ein umfassendes Erfassungsblatt entwickelt, mit dem die Kategorisierung der Fehler durchgeführt wurde. Mit Hilfe dieses Blattes wurden die Mitarbeiter der Werkstatt speziell geschult, um individuelle Spielräume bei der Fehleranalyse möglichst gering zu halten. Besonderer Wert wurde auf direkte Befundung im Falle eines Schadens gelegt, ohne das sonst übliche „Herumprobieren“ oder sonstige Maßnahmen einer „Ad hoc Reparatur“.
- Im Dekontaminierungsraum wurde ein Prüfplatz eingerichtet, um die Untersuchungen an den aus dem Einsatz zurückkommenden Armaturen zu ermöglichen.
- Damit geben die Ergebnisse nicht Resultate einer Laboruntersuchung unter sterilen Bedingungen wieder, statt dessen handelt es sich um echte Ausfallraten unter typischen Einsatzverhältnissen der Prozessindustrie in einer Vielzahl unterschiedlicher Produktionsbetriebe.

Bild 2: Industriepark Höchst (Quelle: Infraserv Höchst)

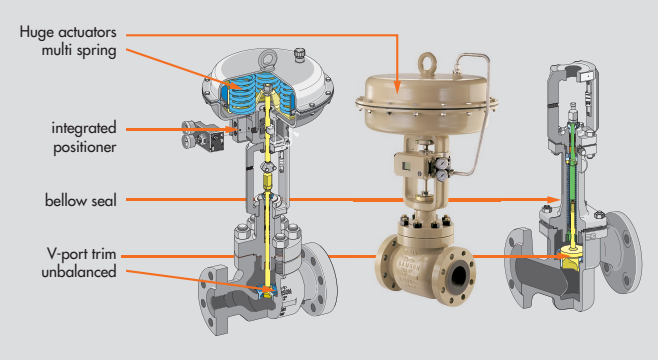


Bild 3: Wichtige, qualtitätsrelevante Konstruktionsmerkmale [5]

- Die Untersuchung wurde verantwortlich durch den Industriedienstleister Infraserv durchgeführt, der als unabhängige Institution das Ergebnis in Form einer MTBF (Mean Time Between Failure) für die eingesetzten Ventilbaureihen unter den gegebenen Prozessbedingungen ermittelte.

Untersucht wurden die Stellgeräte der Bauarten 240 und 250 mit Sicherheitsstellung von SAMSON. Als Ergebnis stehen die MTBF für chemietypischen Einsatz dieser Bauarten zur Verfügung. Unter Berücksichtigung der internen Daten der Untersuchung und eines Assessments der gesamten Methodik durch EXIDA wurden daraus sicherheitsrelevante Kennzahlen ermittelt. Diese sind in der genannten Datenbank der EXIDA aufgeführt, stehen aber auch generell für Kunden zur Verfügung. Die erzielten Werte überraschen durch die hohe MTBF. Diese für viele Anwendungen oder Fabrikate unüblich guten Werte verlangen nach einer Erklärung. Die Antwort ist relativ einfach: Die Baureihe war in langen Jahren in engem Kontakt mit Anwendern optimiert worden, kritische Einsatzfälle werden in der Regel von Hersteller und Anwender gemeinsam beraten. [3, 4]. Dies resultiert in einer Reihe von konstruktiven Eigenheiten, die besonders auf die chemie- und pharmatypischen Einsatzfälle zugeschnitten sind. Hierbei ist in erster Linie das Ventil zu betrachten. Wesentliche Merkmale sind der vibrationsarme V-Port Kegel, der Verzicht auf Druckentlastung unter Hinnahme großzügig dimensionierter Antriebe oder der bevorzugte Einsatz von Faltenbälgen als Stangenabdichtungssystem. Aber auch die Hilfsaggregate spielen eine große Rolle. Reibungsarme Membranantriebe mit optimiertem Antriebsgewebe und insbesondere der integrierte Anbau des Stellungsreglers, der jegliche Probleme der Hubübertragung durch mechanische Fehler auch bei hoher dynamischer Belastung vermeidet, spielen eine wichtige Rolle (Bild 3) [5].

3. Anwendung der Armaturen im Sicherheitskreis

Die nachgewiesene Zuverlässigkeit der Ventildaten bildet für den Anwender die Grundlage der Bestimmung der speziellen

Werte für seine Sicherheitskette in einem gegebenen Prozess. Es ist jedoch seine Verantwortung, seinen Prozess genau zu analysieren und dann die Entscheidung über Ventiltype, Dimensionierung und Materialauswahl zu treffen. Bekannt sind die großen Unterschiede in der Lebensdauer. In manchen Anlagen sind Ventile mit einem Alter von 20 Jahren anzutreffen, andererseits gibt es Anwendungen, die innerhalb von Wochen die eingesetzte Armatur zerstören. Der Unterschied liegt in der Auslegung des Ventils, kritische Betriebszustände sind zu vermeiden [6, 7]. Grundlegend sind hier die umfangreichen Anforderungen nach IEC 60534, Teil 7 zu beachten. Der Anwender muss seine Prozessparameter genau analysieren. Dies umfasst:

- Differenzdruck über dem Ventil, Energieverlust am Ventil, können bei den fraglichen Fluiden Kavitation oder Flashing auftreten
- Die Austrittsgeschwindigkeit ist zu limitieren
- Welche Werkstoffe kommen aufgrund der möglicherweise korrosiven Eigenschaften des verwendeten Mediums in Frage
- Kann es sich um stockende oder kristallisierende Medien handeln, sind Rückwirkungen auf Ventilkörper, -gehäuse oder Stangenabdichtung zu berücksichtigen
- Wie sind die Umgebungsbedingungen zu bewerten (Temperatur, Feuchte, Schwingungsbelastung, womöglich korrosive Umgebungsluft)

Insgesamt sollte das Ventil „konservativ" ausgelegt werden, also nicht an der Leistungsgrenze betrieben werden. Eine weitere wichtige Rolle spielen die Hilfsaggregate, Joch, Antrieb, Magnetventil oder Stellungsregler. Im Zusammenspiel der Komponenten ist die Auslegung der mechanischen, elektrischen und pneumatischen Verbindungen von besonderer Bedeutung. Eine rein zahlenmäßige Behandlung der Fehlercharakteristika der Einzelkomponenten durch Addition greift hier zu kurz. Vorzuziehen ist eine Betrachtung des gesamten Absperrelements mit allen Verbindungsstellen, bewertet mit Daten aus Betriebsbewährung.

Die IEC 61508 wird oft nur unter dem Gesichtspunkt des „Numbercrunching" gesehen, als zahlenorientiert, zu stark quantitativ, schematisch kritisiert. Der Grundgedanke der Norm ist allerdings nicht die zahlenmäßige Behandlung des Sicherheitskreises, sondern der gesamte Sicherheitslebenszyklus wird eingefordert, beginnend bei Analyse und Auflistung möglicher Probleme, Beschreibung der Lösungswege, dann der Implementierung der gewählten Lösung, Inbetriebnahme, Wartung. Die Schulung des Personals spielt eine große Rolle. Diese Sichtweise trifft sich weitgehend mit der obigen Betrachtung. Aufbauend auf den generellen Eigenschaften des Ventils, die durch Herstellerdaten belegt werden, muss der Anwender durch Analyse, sachgerechte Implementierung und entsprechende Wartung seinen Beitrag leisten, damit die konstruktiv gegebenen Möglichkeiten im konkreten Fall auch erreicht werden. Die Bewertung der Sicherheitskreise darf mit Implementierung und Inbetriebnahme nicht enden. Die gemachten Annahmen sollten durch Beobachtung bestätigt werden. Insbesondere ist von Bedeutung:

- Ein System zur lückenlosen Erfassung, Bewertung und Dokumentation aller Fehler
- Wiederkehrende Prüfungen, deren Häufigkeit vorher festgelegt wurde
- Einhaltung bestimmter Leistungsindikatoren wie Schließzeit, Dichtigkeit sind während der durchgeführten Tests zu ermitteln mit dem Ziel, mögliche Abweichungen vom Gutzustand vor einem Ausfall zu erkennen.

In diesem Rahmen gewinnt eine veränderte Instrumentierung an Bedeutung. Klassisch wird das Magnetventil zur Ansteuerung der Sicherheitsarmatur benutzt. Moderne Diagnosemöglichkeiten eines Stellungsreglers [8] legen jedoch den Gedanken nahe, die oben zitierten Punkte automatisiert zu erfassen. Voraussetzung ist natürlich, dass der Stellungsregler die gleiche Zuverlässigkeit bezüglich der Anforderung im Notfall (Abschaltung) aufweist wie das Magnetventil. Als besonders vorteilhaft erweist sich dabei auch die Integration der am Ventil benötigten Komponenten Stellungsregler, Magnetventil und Endlagenschalter in einem Gehäuse. Entsprechende Geräte sind inzwischen verfügbar (Bild 4). Erweiterte Tests können, falls sie als relevante Tests im Sinne der IEC 61508 verwertbar sind, zur Verlängerung der Anlagenlaufzeit herangezogen werden. Auch hier ist aber wieder eine spezielle Untersuchung der Verhältnisse im Einzelfall erforderlich um daraus die Wirksamkeit der eingesetzten Diagnose (diagnostic coverage) abzuleiten. Entsprechende Vorschläge wurden zum Beispiel in [9] gemacht und werden in einer weiteren Veröffentlichung im Detail diskutiert werden.

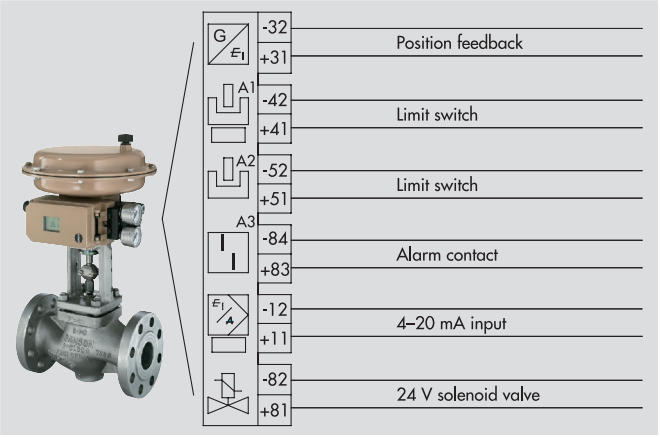


Bild 4: Stellungsregler mit integriertem Magnetvenil und Endlagenschalter

4. Zusammenfassung

Die erfolgreiche Umsetzung der Norm fordert mehr denn je eine enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Anwender. Der Hersteller muss Rahmendaten für die Zuverlässigkeit seiner Produkte liefern. Anwendungsbedingungen müssen zumindest für Ventile in kritischen Anlagen gemeinsam diskutiert und ausgelegt werden, der Einsatz anonymer Produkte wie zum Beispiel bei elektronischen Komponenten, die mit wenigen Kennzahlen in einem Katalog beschrieben und auswählbar sind, ist hier undenkbar. Das Gerät muss im laufenden Betrieb durch den Anwender beobachtet werden, die Erkenntnisse dieser Beobachtung sollten, nicht nur im Schadensfall sondern auch im Gutfall dem Hersteller mitgeteilt werden. Auf Basis dieser Zusammenarbeit kann das volle Potential einzelner Geräte ausgereizt werden, optimale Sicherheit erreicht und Potentiale für Kostensenkungen erschlossen werden.

Literatur

[1]: Muschet, A.: „Sicherheitseinstufung von Stellgeräten in Anforderungsklassen auf Grundlage der IEC/EN 61508“, Industriearmaturen 1 / 2004

[2]: Exida „Selecting Instrumentation Equipment for Safety Applications“, Version 2.0, February 2004, www.EXIDA.com

[3]: Kiesbauer, J.: „Stellventile bei kritischen Prozessbedingungen in Raffinerien“, Industriearmaturen, 3/2001

[4]: Diener, R.; Friedel, L.; Kiesbauer, J.: „Auslegung von Stellgeräten bei Zweiphasenströmung“, Automatisierungstechnische Praxis, 3 / 2000

[5]: König, G., Kiesbauer, J.: „Erst die Hardware, dann die Software“, CAV 7/2003

[6]: Meffle, Kiesbauer, J.: „Ein Leitfaden für eine vereinfachte Auslegung eines Stellgerätes auf der Basis von EN 60534“, Automatisierungstechnische Praxis, 8, 2001

[7]: Herbrich, R „Der Feind im Ventil – Kritische Betriebszustände bei Stellventilen“, Automatisierungstechnische Praxis“, H. 7 / 2002, IEC_1: IEC 61508, IEC_2: IEC 61511

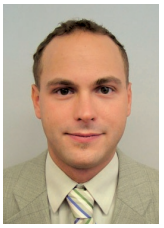
[8]: Kiesbauer, J.: „Neues, integriertes Diagnosekonzept bei digitalen Stellungsreglern“, Automatisierungstechnische Praxis, 4, 2004

[9]: Karte, Th.: „Enhanced reliability of final elements“, Conference On Functional Safety, Jurata (Gdansk), Poland, 16 September 2004

Dr. rer. nat. Thomas Karte (49) ist bei der SAMSON AG in Frankfurt für die Anwendungstechnik elektropneumatischer Geräte zuständig (E99). Er ist Mitglied des Fachausschusses der GMA 4.14, „Strömende Stoffe“, des Ausschusses K 963 der DKE, sowie der Working Group 6 des IEC SC65B.
SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHINK
Weismuellerstr. 3 · 60314 Frankfurt am Main · Germany
Tel: +49 69 4009-2086 · E-Mail: tkarte@samson.de

Dipl.-Ing. Eugen Nebel (51) leitet bei der SAMSON AG die Zentralabteilung Entwicklung Stellgeräte (E1). Er ist Mitglied des Ausschusses K963.
SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHINK
Weismuellerstr. 3 · 60314 Frankfurt am Main · Germany
Tel: +49 69 4009 1595 · E-Mail: enebel@samson.de

Manfred Dietz (56) leitet das Prüflabor der Infraserv GmbH & Co Höchst AG in Frankfurt.
Adresse: MSR-Analysentechnik, Prüflabor,
Industriepark Höchst – D710, 65926 Frankfurt,
Tel:+49 69 305-2663, E-Mail: manfred.dietz@infraserv.com



Dipl. Ing. Helge Essig (29) ist bei Infraserv für Koordination und Durchführung von Typprüfungen und Prüfungen entsprechend IEC 61508 / IEC 61511 für Aktorik in der MSR Technik zuständig. Er ist Mitglied des Fachausschusses der GMA 4.14, „Strömende Stoffe“.
Adresse: MSR-Analysentechnik, Prüflabor,
Industriepark Höchst – D710, 65926 Frankfurt,
Tel: +49-69-305-15077, E-Mail: helge.essig@infraserv.com

SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · 60314 Frankfurt am Main
Telefon: 069 4009-0 · Telefax: 069 4009-1507 · E-Mail: samson@samson.de · Internet: http://www.samson.de

2005-06 HD · WA 148 DE