



ABB Technik

Die technische Zeitschrift
des ABB-Konzerns

www.abb.com/abbreview

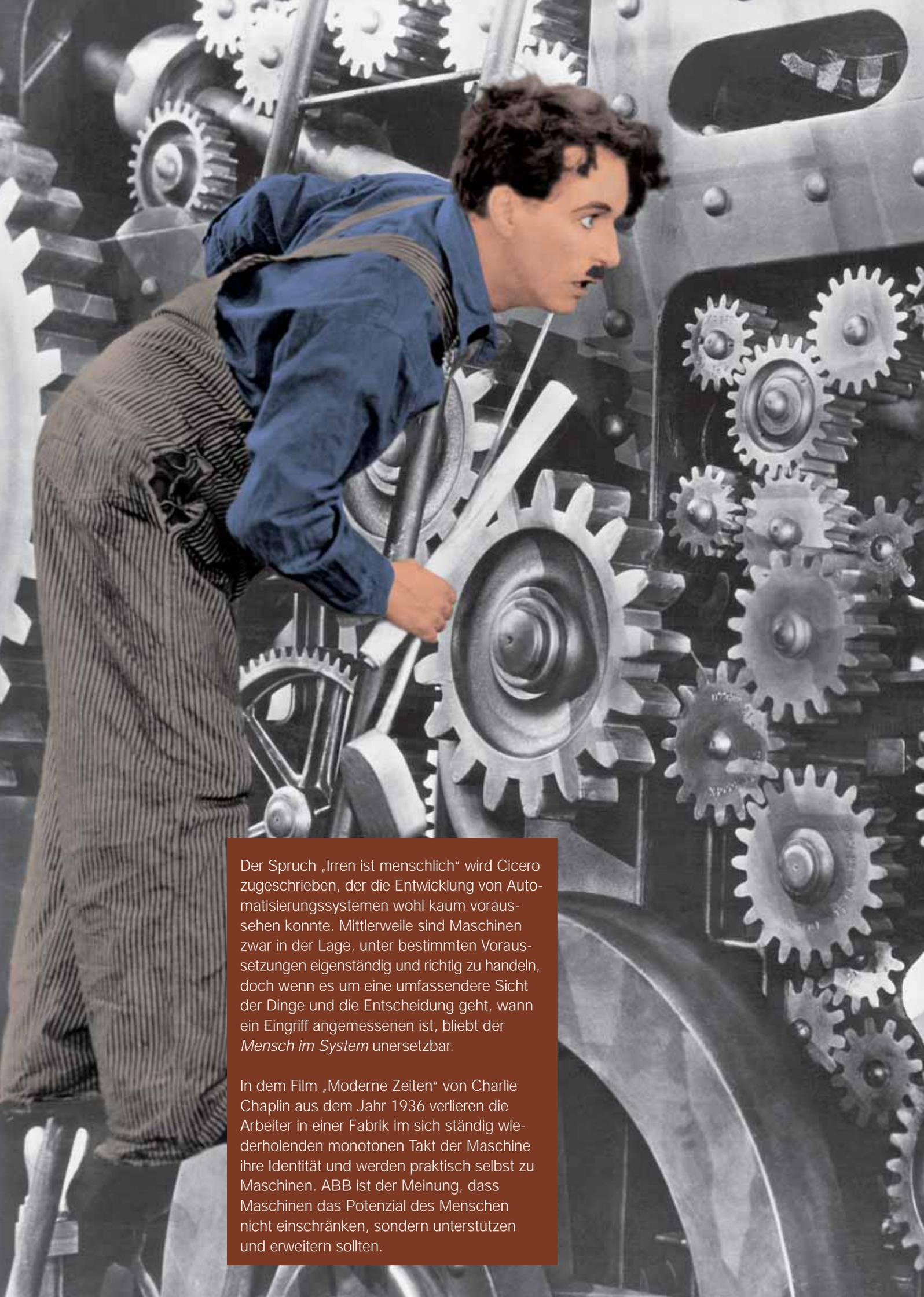
1 / 2007

Der Mensch im System

Intelligente Alarmierung
Seite 20

Die dritte Dimension
Seite 40

Pionierleistungen
Seite 73



Der Spruch „Iren ist menschlich“ wird Cicero zugeschrieben, der die Entwicklung von Automatisierungssystemen wohl kaum voraussehen konnte. Mittlerweile sind Maschinen zwar in der Lage, unter bestimmten Voraussetzungen eigenständig und richtig zu handeln, doch wenn es um eine umfassendere Sicht der Dinge und die Entscheidung geht, wann ein Eingriff angemessenen ist, bleibt der *Mensch im System* unersetzbar.

In dem Film „Moderne Zeiten“ von Charlie Chaplin aus dem Jahr 1936 verlieren die Arbeiter in einer Fabrik im sich ständig wiederholenden monotonen Takt der Maschine ihre Identität und werden praktisch selbst zu Maschinen. ABB ist der Meinung, dass Maschinen das Potenzial des Menschen nicht einschränken, sondern unterstützen und erweitern sollten.



Der Mensch im System

In der Prozessindustrie gehen weltweit rund 20 Mrd. US-Dollar bzw. 5 % der Jahresproduktion aufgrund von ungeplanten Ausfallzeiten und mangelhafter Qualität verloren. Laut Schätzungen der ARC¹⁾ sind fast 80 % dieser Verluste vermeidbar, und rund 40 % sind vornehmlich auf Bedienfehler zurückzuführen. Nur allzu häufig war in den letzten zehn Jahren von Blackouts und Störfällen in Stromnetzen und Kernkraftwerken zu hören. Die Geschwindigkeit, mit der sich Störungen in Stromnetzen ausbreiten, lässt Netzoperatoren kaum eine Chance zu reagieren, sodass es unweigerlich zu Produktionsausfällen in der betreffenden Region kommt. Der Unfall in Three Mile Island im Jahr 1979 wurde verursacht, weil den Bedienern nicht die notwendigen Informationen zur Verfügung standen, um die Situation richtig einzuschätzen.

Die fortschreitende Automatisierung hat umfangreiche, ausgeklügelte Systeme hervorgebracht, die dem Bediener strukturierte Informationen zur Unterstützung seiner Entscheidungen auf ergonomische Weise präsentieren. Da auch niemand mit einem Passagierflugzeug ohne Piloten fliegen würde, wird die oberste Verantwortung für einen sicheren und effizienten Ablauf von komplexen Prozessen auch in absehbarer Zukunft weiterhin beim Menschen liegen.

Wie können also Produktionsverluste aufgrund von Bedienfehlern, Störungen und Blackouts infolge von Hurrikans und ähnliche verheerende Ereignisse verhindert werden? Indem den verantwortlichen Personen bessere und genauere Informationen in leicht zugänglicher Form für eine schnelle Entscheidungsfindung zur Verfügung gestellt werden. Solche Fragen hinsichtlich der Rolle des *Menschen im System* werden nun ernsthaft erforscht und stehen bei vielen Unternehmen einschließlich ABB ganz oben auf der Liste. Ergonomie und Informationsvisualisierung, Entscheidungsunterstützung und Benutzerfreundlichkeit sind alles Gebiete, die sich im Laufe der Jahre durch die Suche nach Möglichkeiten für eine bessere Kommunikation zwischen Mensch und Maschine entwickelt haben. Sowohl Ergebnisse aus der Verhaltensforschung als auch praktische Erfahrungen fließen in Lösungen ein, die eine optimale Unterstützung des *Menschen im System* gewährleisten.

In dieser Ausgabe der ABB Technik werfen wir einen Blick auf die aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf diesen für unsere Produkte und Lösungen so wichtigen Gebieten. Nach einem allgemeinen Blick in den Bereich der Wissenschaft folgen fünf Rubriken mit verschiedenen Schwerpunkten. In der ersten Rubrik *Betriebliche Effizienz* befassen wir uns mit dem Thema Entscheidungsunterstützung anhand von Beispielen aus der Energiewirtschaft (Management von sturmbedingten Ausfällen) und der Prozessindustrie (elektromagnetisches Stabilisierungssystem für die Verzinkung von Stahlbändern). Ein weiteres Thema ist die intelligente Alarmierung. Hier wird aufgezeigt, wie aus einer Flut von Alarmen nur die wichtigsten herausgefiltert und dargestellt werden können, um dem Bediener zeit-

kritische Entscheidungen zu erleichtern. Um das Wiederauftreten von unerwünschten Ereignissen zu verhindern, sind zuverlässige Vorhersagemethoden erforderlich. Dies gilt besonders, wenn sich Störungen so rasch innerhalb einer Anlage ausbreiten, dass dem Menschen keine Zeit zum Reagieren bleibt. Eine entsprechende Lösung wurde bei Eastman Chemicals realisiert und wird in einer Fallstudie beschrieben. Die nächste Rubrik *Kapitalproduktivität* befasst sich mit der Visualisierung als wichtiges Mittel zur ergonomischen Darstellung von Informationen. Nach einem einleitenden Beitrag über Kriterien für die Gestaltung von Systemen unter Berücksichtigung der Rolle des Menschen wird anhand von Beispielen aus der Prozessindustrie und der Energiewirtschaft beschrieben, wie sich unsere eigene Technologie in dieser Hinsicht weiterentwickelt hat. Außerdem wird gezeigt, wie 3-D-Grafiken die Verständlichkeit von Prozessinformationen in Zukunft verbessern können.

In der Rubrik *Benutzerfreundlichkeit* zeigen wir am Beispiel unserer Antriebstechnologie, wie eine einfachere Bedienung von komplexen Produkten dabei helfen kann, breitere Märkte zu erschließen, und stellen unter dem Thema „intelligente Umgebungen“ die neue Smart&Lean Produktreihe von Busch-Jaeger vor. Benutzerfreundlichkeit spielt auch eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Werkzeugen zur effizienten Erkennung von Verbesserungspotenzialen in prozesstechnischen Anlagen. Der zweite und letzte Teil unseres Beitrags über Leistungshalbleiter mit dem Schwerpunkt Gehäusetechnologien und zukünftige Materialien rundet diese Rubrik ab.

Die nächste Rubrik befasst sich mit *Forschungsaktivitäten* von ABB in Kooperation mit Hochschulen. Dabei geht es unter anderem um die Abfrage von Automatisierungssystemen nach Status- oder Alarminformationen mithilfe natürlicher Sprache, und Professor Tom Drummond von der Cambridge University in England befasst sich mit der Frage, wie mithilfe der Augmented Reality die Verbindung zwischen der topologischen Beschreibung einer Anlage und ihren realen Komponenten hergestellt werden kann.

Und schließlich beginnen wir unter der Überschrift *Pionierleistungen* eine neue Reihe von Artikeln über bedeutende ABB-Produkte der letzten 100 Jahre. Den Anfang macht in diesem Heft ein Beitrag über die Entwicklung der Leistungshalbtertechnik seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

Wir wünschen Ihnen eine angenehme Lektüre

Peter Terwiesch
Chief Technology Officer
ABB Ltd.

Fußnote

¹⁾ ARC Advisory Group, News 2006

ABB Technik 1/2007

Der Mensch im System

Der Faktor Mensch

6

Der Mensch im System

Wie können Automatisierungssysteme den Bediener besser unterstützen, und wie verändert sich die Rolle des Bedieners mit zunehmender Komplexität der Systeme?

Betriebliche Produktivität

11

Die Ruhe nach dem Sturm

Management von sturmbedingten Ausfällen in Stromnetzen

16

Verzinkungshilfe

Optimierung des Zinkauftrags ohne Berührung der Oberfläche

20

Intelligente Alarmierung

ABB hilft, eine Überlastung der Anlagenfahrer und Fehlentscheidungen zu verhindern.

24

Störungen auf der Spur

Beherrschung von Prozessschwankungen durch die Analyse anlagenweiter Störungen

Kapitalproduktivität

30

Designmethoden

Bessere Nutzung der Stärken des Menschen durch bessere Integration des Menschen in das System

34

Fallstudie

Anwendung von Modellen und Methoden für ein erweitertes Verständnis des *Menschen im System*

37

Im Blickpunkt: Produktivität

Der neue interaktive Bedienerarbeitsplatz von ABB erleichtert den Zugang zu relevanten Informationen.

40

Die dritte Dimension

Erweiterung von 2-D-Prozessansichten um eine zusätzliche Dimension

44

Schwachstellen im Blick

Neue Möglichkeiten zur Visualisierung des Zustands von Stromnetzen

Benutzerfreundlichkeit

49

Der Antrieb zur Einfachheit

Niedrigere Kosten, weniger Komponenten, mehr Funktionalität und eine höhere Produktivität

53

Intelligente Umgebungen

Die Vernetzung alltäglicher Geräte macht uns das Leben leichter und angenehmer.

56

Raum für Verbesserungen

Systematische Erkennung von Verbesserungspotenzialen in industriellen Prozessen

62

Leistungshalbleiter

Teil 2: Höhere Leistungsfähigkeit durch bessere Gehäuse und neue Materialien für die Zukunft

Forschungsaktivitäten

67

Im Klartext

Kommunikation mit dem Computer in natürlicher Sprache

70

Erweiterte Realität

Wie Augmented Reality dabei helfen kann, den richtigen Knopf zu finden

Pionierleistungen

73

Pionierleistungen

Eine neue Reihe von Artikeln über die bedeutendsten Entwicklungen in der Geschichte von ABB

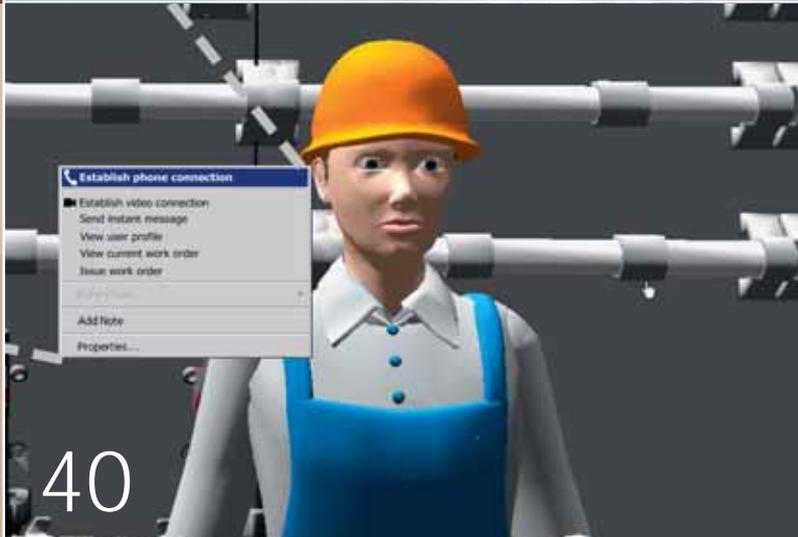
75

Der Leistungsschalter

Ein Blick auf ein Jahrhundert voller bahnbrechender Entwicklungen



20



40



44



73



Der Mensch im System

Die Rolle des Bedieners als zentrale Figur bei der Konzeption und dem Betrieb von industriellen Automatisierungssystemen

John Pretlove, Charlotte Skourup

Seit der Einführung von computergesteuerten industriellen Automatisierungsprozessen Mitte der 1960er Jahre bemühen sich Ingenieure, die Diskrepanzen zwischen der menschlichen Vorstellung einer bestimmten Aufgabe und der leittechnischen Umsetzung zu minimieren. Verbesserungen in der Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit der Systeme helfen dabei und haben dazu geführt, dass sich das Bedienpersonal immer weniger mit einfachen Tätigkeiten herumschlagen muss, sondern sich anspruchsvolleren Aufgaben der Überwachung, Prozessführung bei Störungen, Optimierung und Instandhaltung widmen kann. So hat sich in den letzten 50 Jahren eine klare Aufteilung der Zuständigkeiten zwischen Mensch und Maschine entwickelt, die sich an den jeweiligen Fähigkeiten der beiden orientiert.

Eine Optimierung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine hängt jedoch von der kontinuierlichen technologischen Entwicklung in drei Bereichen ab: Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung, Ergonomie und Visualisierungstechnologien und die Benutzerfreundlichkeit von komplexen Systemen. Die optimale Synthese dieser drei Bereiche ist die Basis für die Entwicklung einer modernen Bedienerumgebung für Automatisierungssysteme.

In den vergangenen 50 Jahren hat die zunehmende Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von industriellen Automatisierungssystemen zu einer Entlastung der Bediener von langweiligen, sich wiederholenden bzw. gefährlichen Aufgaben geführt. Stattdessen spielt das menschliche Bedienpersonal in hoch komplexen industriellen Automatisierungssystemen – zum Beispiel in elektrischen Energieversorgungsnetzen, Zellstoff- und Papierfabriken, Kraftwerken und Raffinerien – heute eine zentrale Rolle bei der Überwachung, Erkennung von Anomalien, Instandhaltung und Prozessoptimierung. Trotz dieses scheinbaren Widerspruchs ist der menschliche Bediener ein fester Bestandteil jedes automatisierten Regelkreises in nahezu allen industriellen Anwendungen jeder Größenordnung. Daher ist das Verständnis und die Optimierung der Zusammenarbeit zwischen Leittechnik und Bediener von entscheidender Bedeutung und ein systematischer Designansatz für eine optimale Sicherheit und Systemleistung unentbehrlich.

Der Mensch als Teil des Automatisierungssystems

In den frühen Tagen der industriellen Automatisierung haben die Systementwickler versucht, so viel wie möglich zu automatisieren und den menschlichen Bediener – der als das schwächste Glied im System galt – vollständig aus dem Regelkreis zu entfernen. Als dies fehlschlug, wurden dem Menschen Aufgaben zugewiesen, die die Entwickler nicht automatisieren konnten.

Die besonderen Fähigkeiten des Menschen gegenüber Maschinen waren jedoch schon in den 1960er Jahren bekannt, und die grundlegenden Prinzipien wurden erstmalig 1951 von Paul Fitts beschrieben [1]. Sein Modell half zwar dabei, die Zuordnung von Funktionen zwischen Menschen und Maschinen zu bestimmen, doch es war nicht in der Lage, eine Integration der Fähigkeiten beider und die Steigerung der

Effektivität des menschlichen Bedieners durch die Unterstützung und Zusammenarbeit mit Computersystemen zu berücksichtigen. Mittlerweile ist man dazu übergegangen, den Menschen stärker einzubinden¹⁾, statt ihn vollständig aus der industriellen Prozessautomatisierung zu verbannen. Die Gründe dafür sind:

- Der Grad der Automatisierung eines Produktionsprozesses richtet sich nach der Vorhersehbarkeit des Prozessverhaltens und dessen Komplexität. Der Aufwand, größere und komplexere Produktionsprozesse vollständig zu modellieren und zu automatisieren, ist sehr hoch. Dementsprechend sind heutige Industrieanlagen im Allgemeinen nicht vollständig automatisiert. Ebenso wenig kann die Auswirkung externer Einflüsse auf das Leitsystem vollständig berücksichtigt werden.
- Einige Prozesse ließen sich aus technischer Sicht zwar automatisieren, doch nur zu exorbitanten Kosten. Auf jeden Fall ist es sehr unwahrscheinlich, dass die Öffentlichkeit Systeme mit hohem Risikofaktor akzeptieren würde, bei denen die Gesamtverantwortung nicht bei einem Menschen liegt. So ist das Automatisierungssystem eines modernen Passagierflugzeugs zwar in der Lage, sowohl den Start als auch die Landung ohne menschliche Einwirkung durchzuführen, doch es gibt nicht viele

Menschen, die in ein Flugzeug ohne einen verantwortlichen Piloten steigen würden.

Zu den wichtigsten Prozesseigenschaften, die bei der Konzipierung eines Systems mit menschlicher Beteiligung berücksichtigt werden sollten, gehören:

- die Prozessgröße und -komplexität
- die Änderungsrate des Prozesses
- die Variabilität des Produktplans
- die Umweltauswirkung des Prozesses
- die wirtschaftlichen Konsequenzen von Abschaltungen und Änderungen im Produktionsablauf
- die Sicherheit von Mensch, Maschinen und Umwelt

Menschen können im Allgemeinen gut mit den Folgen vieler dieser Faktoren umgehen. So verfügt der Mensch zum Beispiel über die Fähigkeit, Muster und anomale Ereignisse auf der Basis großer Datensätze zu erkennen, geeignete Verfahren für neue Situationen zu entwickeln, umfangreiches Wissen über lange Zeiträume hinweg zu speichern und schlussfolgernd zu urteilen. Um diese Aufgaben effizient ausführen zu können, müssen sich menschliche Bediener jederzeit der momentanen Situation bewusst sein. Mit anderen Worten, sie benötigen die richtigen Informationen zur richtigen Zeit, um die aktuelle Situation zu verstehen und die

1 Cockpit eines Airbus A380 (Foto: Airbus)



Fußnote

¹⁾ Die Aufteilung der Arbeit zwischen großen, komplexen und dynamischen industriellen Automatisierungssystemen und „wissenden“ menschlichen Bedienern ist eine Sache. Noch wichtiger ist es, die richtige Balance zu finden.

Der Faktor Mensch

richtige Entscheidung treffen zu können. Hierfür ist eine geeignete visuelle Unterstützung erforderlich. Wie große Mengen von Informationen am effizientesten dargestellt werden müssen, damit in kritischen Situationen schnell die wichtigsten Aspekte erfasst werden können, ist das Forschungsgebiet der Kognitionswissenschaft. Ergonomie und Design sind zwei weitere Disziplinen, die für die Benutzerfreundlichkeit eines Systems eine Rolle spielen. Zu den beliebtesten Versuchsfeldern in diesen Bereichen gehören Flugzeugcockpits und Instrumententräger von Kraftfahrzeugen **1**.

Entscheidungsunterstützung

Entscheidungsunterstützungssysteme sind eine Klasse von computerbasierten Informationssystemen bzw. wissensbasierten Systemen, die Entscheidungsfindungsprozesse auf verschiedene Weise unterstützen [2].

Ein effizientes Entscheidungsunterstützungssystem für moderne und komplexe Industrien muss in der Lage sein, sowohl den Grad der Automatisierung als auch das menschliche Verhalten zu berücksichtigen. Ein bedeutender Teil der meisten industriellen Prozesse ist wohlbekannt, relativ einfach zu modellieren und somit auch zu automatisieren. Das menschliche Verhalten hingegen ist wesentlich komplexer, unvorhersehbar und kaum modellierbar. Anstatt den Menschen zu modellieren (um ihn zu ersetzen), besteht die Aufgabe der Entscheidungsunterstützung in großen Automatisierungssystemen darin, den „Wertschöpfungsanteil“ des Menschen zu erhöhen, indem sie den Anlagen-

bedienern bei Entscheidungen hinsichtlich einer bestimmten Situation oder eines akuten Problems hilft. Entscheidend ist jedoch, dass der menschliche Bediener verantwortlich bleibt **2**. Das Entscheidungsunterstützungssystem sollte nicht bestimmen, was zu tun ist, sondern den Benutzer mit ausreichenden Informationen versorgen, damit dieser eine bestimmte Situation vollständig erfassen und die Konsequenzen möglicher Entscheidungen erkennen kann. Letzten Endes ist es der *Mensch im System*, der über die bestmögliche Vorgehensweise entscheiden muss.

Eine große Anlage mit 10.000 Regelkreisen oder mehr kann unter normalen statischen Betriebsbedingungen stundenlang ohne menschliche Einwirkung autonom produzieren. Die besondere Herausforderung besteht heute darin, die Aufmerksamkeit des Bedieners zu wecken, sobald etwas Außergewöhnliches und Kritisches passiert. Auch hier lassen sich Parallelen zur Luftfahrt ziehen. Bei interkontinentalen Flügen müssen die Piloten oft stundenlang nicht aktiv eingreifen. Passiert jedoch etwas Außergewöhnliches, müssen sie sofort reagieren und ggf. die auftretenden Probleme lösen. Hier liegt eine der kritischen Aspekte von Systemen mit menschlicher Beteiligung (sog. *Human-in-the-Loop*-Systemen). Einerseits überwacht der Bediener das System mit minimaler direkter Einwirkung. Doch sobald etwas von der Norm abweicht, muss er nicht nur über den (aktuellen und vorherigen) Zustand des Prozesses Bescheid wissen, sondern auch wissen, welche manuellen

Maßnahmen zur Bewältigung der Situation erforderlich sind.

Wie Forschungen gezeigt haben, ist ein wichtiger Aspekt bei der Unterstützung des Bedieners die Art und Weise, wie Informationen aufbereitet und dargestellt werden, um einen unmittelbaren und vollständigen Überblick über die aktuelle Situation zu gewährleisten. Für kritische Informationen in einer Prozessanlage gilt:

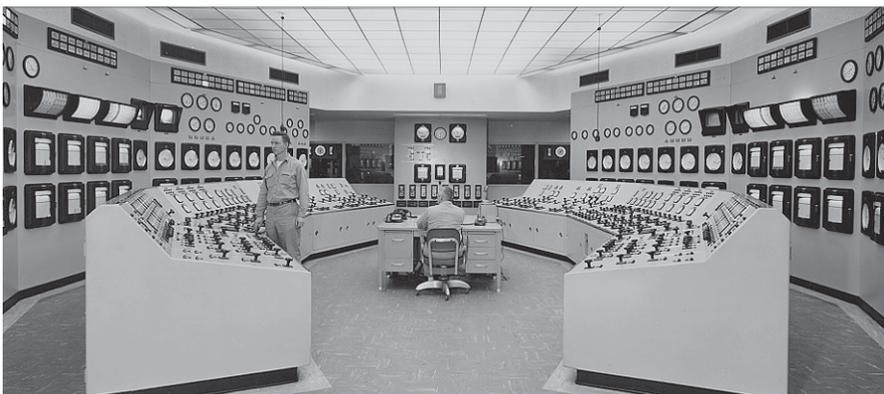
- Erstalarne (jedoch nicht die gesamte Reihe von Folgealarmen) sollten einfach und schnell identifizierbar sein.
- Leistungsdaten sollten zur schnellen Prüfung auf wichtige statistische Größen reduziert werden und nicht in umfangreichen Tabellen mit Datenpunkten dargestellt werden.
- Die aktuelle Situation sollte mit vorherigen und ähnlichen Situationen verglichen werden, wobei auch evtl. vorherige Maßnahmen zur Lösung des Problems berücksichtigt werden sollten.
- Das Ergebnis bzw. die Folge einer Bedienerentscheidung sollte zunächst prognostiziert werden, um die Chance einer „richtigen“ Entscheidung zu erhöhen.

Die Bandbreite der Entscheidungsunterstützung reicht von direkten, automatisch vom System ausgegebenen Empfehlungen bis hin zur manuellen Suche nach Möglichkeiten mithilfe von Trendanzeigen, statistischen Informationen und priorisierten Alarmen. Zur Unterstützung des Bedieners in komplexen Alarmsituationen werden die Alarme in der Entscheidungsunterstützungssoftware zum Beispiel gefiltert und farblich gekennzeichnet. Da es sich bei vielen Alarmen häufig um Folgealarme handelt, kann sich der Bediener so direkt auf die wichtigen Alarme konzentrieren. Ein weiteres Beispiel ist die Ursachenidentifizierung bei Situationen, in denen Alarme automatisch ausgewertet und nur die wirkliche Ursache des Problems dargestellt wird. Immer häufiger werden Fallhistorien ähnlicher Vorfälle einschließlich ihrer Lösungen mitgeliefert, mit denen der Bediener seinen Erfahrungsschatz erweitern kann.

Ergonomie und Informationsvisualisierung

Der Begriff „Ergonomie“ stammt vom griechischen Wort „Ergon“ (Arbeit) ab

2 In den 1930er und 1940er Jahren bestimmten Rundinstrumente und analoge Anzeigen das Leitwartendesign.



und bezieht sich in der Prozessautomatisierung auf die Betriebsumgebung, in der der Mensch seine Arbeit verrichtet. Zu den Variablen einer solchen Umgebung gehören die Raumgröße, die Farbgebungen, die Möblierung und natürlich die Visualisierung der von den Systemen ausgehenden Informationen. Eine Vielzahl von Studien hat dazu beigetragen, die minimalen Anforderungen für eine gute Bedienerleistung festzustellen. Dazu gehören unter anderem verstellbare Tische und Stühle, Bildschirme mit dedizierten Informationen und Übersichten, ein festes Farbschema für Anzeigeelemente und Bildschirmhintergründe sowie empfohlene Methoden für das Auffinden von Informationen und Parametern sowie deren Historien. Diese Anforderungen müssen klar definiert sein und innerhalb eines Systems konsistent umgesetzt werden. Zu Komplikationen kommt es, wenn mehrere verschiedene Systeme mit unterschiedlichen ergonomischen Definitionen im selben Raum eingesetzt werden. Internationale Standards wie ISO 92412) und 110643) in Kombination mit bewährten Verfahrensweisen helfen dabei, diese Systeme zu harmonisieren und eine Verbesserung der Gesamteffizienz zu erzielen.

Bei der Visualisierung von Informationen geht darum, wie Informationen dem Bediener präsentiert werden. Eine etwas genauere Definition beschreibt die Informationsvisualisierung als Teilbereich der Computergrafik und des Benutzerschnittstellen-Designs, der sich mit der Darstellung von interaktiven bzw. animierten digitalen Bildern befasst, um dem Benutzer das Verständnis von Daten zu erleichtern [3].

Das Leitsystem ist eine der Hauptinformationsquellen, aus denen das Bedienpersonal den Zustand eines industriellen Prozesses ableiten kann. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Informationen in einer Art und Weise dargestellt werden, die es dem Bediener ermöglicht, die aktuelle Situation vollständig zu erfassen und zu verstehen.

Da sich das menschliche Verhalten unmöglich genau modellieren und vorherhersagen lässt, ist die Bedeutung einer korrekten Darstellung umso größer.

Die Informationsvisualisierung umfasst eine Vielzahl verschiedener Verfahren von herkömmlichen grafischen Benutzerschnittstellen bis hin zu 3-D-/4-D und Virtual-Reality-Schnittstellen. Im Bereich der Automatisierung umfasst die Informationsvisualisierung alles von der Darstellung (abstrakter) Rohdaten auf den Bedienerbildschirmen und der Gestaltung von Schnittstellen für die Mensch-Maschine-Interaktion bis hin zu speziell ausgestatteten Räumen für die Fernkooperation (Remote Collaboration). Traditionell werden an den Bedienstationen in Leitwarten Rohrleitungs- und Instrumentierungsdiagramme (sog. RI-Fließbilder)⁴⁾ zur Darstellung von Prozessübersichten verwendet. Alarmer werden häufig in einem separaten System dargestellt. Durch eine Umgestaltung der Übersicht, bei der Veränderungen im Prozess visualisiert und mit Alarmen kombiniert werden, kann dem Bediener ein unmittelbarer Einblick in den

Zusammenhang zwischen den Veränderungen und Alarmen ermöglicht werden. Eine solche Visualisierung kann sogar dabei helfen, Alarme zu verhindern, da der Bediener es merkt, wenn sich der Prozess einer Alarmgrenze nähert. Die räumliche Datenvisualisierung, zum Beispiel in Form eines 3-D-Modells des industriellen Prozesses, ist eine weitere Möglichkeit, dem Bediener einen Überblick über das System zu geben. Bei einer solchen Visualisierung werden die geografischen Standorte der Betriebsmittel und die besonderen Beziehungen zwischen ihnen dargestellt. Darüber hinaus können zur Realisierung einer einzigen umfassenden Schnittstelle zu mehreren industriellen Prozessen oder Prozessabschnitten Informationen aus anderen Systemen in das 3-D-Prozessmodell integriert werden.

Benutzerfreundlichkeit

Der Begriff „Benutzerfreundlichkeit“ bezieht sich auf die Eigenschaft eines Produkts oder einer Sache, sich ohne große Lernphase bedienen zu lassen. Systeme mit einer hohen Benutzerfreundlichkeit lassen sich vom durchschnittlichen Be-

Eine komplexe moderne Öl- und Gasverarbeitungsanlage



Fußnoten

²⁾ **Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten.** Die ISO 9241 enthält Anforderungen und Empfehlungen hinsichtlich der für die Bedienbarkeit ausschlaggebenden Hardware-, Software- und Umgebungsmerkmale, sowie die zugrunde liegenden ergonomischen Prinzipien.

³⁾ **Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen.** Diese achteilige Norm enthält ergonomische Prinzipien, Empfehlungen und Richtlinien.

⁴⁾ Ein schaltplanähnliches Diagramm, in dem die funktionalen Beziehungen zwischen Rohrleitungen, Betriebsmitteln und Instrumentierung in Prozesseinheiten von chemischen Anlagen, Kraftwerken, Wasseraufbereitungsanlagen o. ä. dargestellt werden.

Der Faktor Mensch

- 3 Heutige Leitsysteme verfügen über Projektionen auf großen Schirmen und individuelle Bedienerarbeitsplätze.



nutzer, für den das Produkt vorgesehen ist, intuitiv bedienen. Der Begriff „Benutzerfreundlichkeit“ wird häufig als Ziel für die Gestaltung eines Produkts und für Marketingzwecke verwendet [4].

Der menschliche Bediener ist der Schlüssel für den erfolgreichen Einsatz von Automatisierungstechnik in der Prozesssteuerung. Die Zusammenarbeit zwischen dem *Menschen im System* und dem gehobenen industriellen Automatisierungssystem hängt davon ab, wie leicht sich die umfangreiche Funktionalität moderner Leitsysteme verwenden lässt. Manchmal wird über die Hälfte der Regelkreise manuell bedient, weil eine optimale Abstimmung der Regler zu komplex ist. Folglich ist es wichtig, alle funktionellen Aspekte des Leitsystems auf den Benutzer zu konzentrieren und das gesamte System um den menschlichen Bediener herum zu konzipieren. Zu den grundlegenden Designprinzipien [5] gehören:

- Orientierung der Technologie an den Zielen, Aufgaben und Fähigkeiten des Benutzers

- Orientierung der Technologie an der Art und Weise, wie Benutzer Informationen verarbeiten und Entscheidungen treffen
- Mithilfe der Technologie dafür zu sorgen, dass der Benutzer jederzeit die Kontrolle behält und über den Zustand des Prozesses Bescheid weiß. Für eine effiziente Nutzung der Fähigkeiten des Leitsystems ist es wichtig, die zur Durchführung einer Aktion erforderlichen Schritte zu vereinfachen. Die Benutzerfreundlichkeit eines komplexen Automatisierungssystems beginnt mit einem umfassenden Verständnis des *Menschen im System*. Die Systementwickler müssen die Tätigkeiten des Benutzers jederzeit und vollständig verstehen, ganz gleich, ob es sich bei den Benutzern um Produktionsleiter, Anlagenfahrer oder Wartungstechniker handelt. Kenntnisse des menschlichen Verhaltens helfen dabei, die grundlegende Architektur des Automatisierungssystems unter Berücksichtigung der Ziele, Aufgaben und Erwartungen der Benutzer zu skizzieren. Kommt es innerhalb der Anlage zu

einem unerwarteten und unbekanntem Ereignis, sucht der Bediener aktiv nach Informationen, um sich ein Bild vom Prozesszustand zu machen. Dabei muss er vollständig auf die Informationen vertrauen, die ihm vom Leitsystem zur Verfügung gestellt werden. Umso wichtiger ist es, das gesamte Automatisierungssystem so auszulegen, dass jegliche Fehlinterpretation der Daten verhindert wird, die zu falschen Maßnahmen und möglicherweise ernsthaften Folgen für den Prozess und die Menschen vor Ort führen kann.

Zusammenfassung

Dass die Automatisierung entweder vollständig manuell oder vollautomatisch funktioniert, ist ein verbreiteter Irrtum. Die Situation ist selten so einfach und eindeutig. Vielmehr beinhalten die meisten industriellen Automatisierungssysteme eine Vielzahl verschiedener Regelungen, die von vollständig manuell bis vollautomatisch reichen. Ebenso kann es verschiedene Betriebsarten geben, die zu unterschiedlichem Umfang automatisiert sind. Der Mensch spielt eine zentrale Rolle in modernen industriellen Automatisierungssystemen – eine Rolle, die in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird. Gleichzeitig stellt der menschliche Bediener das anfälligste Element im System dar, das am leichtesten übersehen wird. Die Gesamtleistung von industriellen Prozessleitsystemen zu verstehen und zu optimieren, erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem sowohl die rasche technologische Entwicklung als auch die besondere Rolle des Menschen berücksichtigt werden müssen.

John Pretlove

Charlotte Skourup

ABB Strategic R&D Group for Oil & Gas
Oslo, Norwegen

john.pretlove@no.abb.com

charlotte.skourup@no.abb.com

Literaturhinweise

- [1] P. Fitts: „Human Engineering for an Effective Air Navigation and Traffic Control System“, National Academy of Sciences, Washington D.C. 1951
 [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_systems (20.10.2006)
 [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Information_visualization (20.10.2006)
 [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Ease_of_use (20.10.2006)
 [5] M. R. Endsley, B. Boltz, D. G. Jones: „Designing for situation awareness – An approach to user-centered design“, Taylor & Francis, London, 2003

Weiterführende Literatur

- L. Bainbridge: „Ironies of Automation“, *Automatica* 19 (1983) 6, 775–779
 T. B. Sheridan: „Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control“, The MIT Press, Massachusetts, 1992



Die Ruhe nach dem Sturm

Entscheidungsunterstützung bei der Behebung von sturmbedingten Stromausfällen

Rafael Ochoa, Amitava Sen

Dass es in elektrischen Energieverteilungsanlagen immer wieder zu Unterbrechungen kommt, ist eine Tatsache. Zwar lassen sie sich minimieren, doch es gibt viele Ereignisse – insbesondere bei Unwettern und Unfällen – bei denen sie sich einfach nicht verhindern lassen. Ganz gleich, ob durch starke Winde Bäume auf Freileitungen stürzen oder Masten abgeknickt und Freileitungen von den Traversen gerissen werden, die Stromversorgung bleibt unterbrochen, bis die physi-

schen Einrichtungen ersetzt oder repariert werden. Und dazu ist fast immer menschliche Arbeitskraft erforderlich. Wie schnell und effizient diese Reparaturen durchgeführt werden können, hängt zum großen Teil von den Entscheidungsunterstützungssystemen des jeweiligen Energieversorgungsunternehmens (EVU) ab.

Zu diesen Systemen gehören auch sogenannte Ausfallmanagementsysteme (Outage Management Systems,

OMS). Angesichts steigender Anforderungen hinsichtlich einer präzisen Verfolgung und Meldung von Ausfällen sind solche Systeme längst zu wertvollen und notwendigen Werkzeugen der EVUs geworden. Network Manager DMS von ABB ist ein führendes OMS, das von vielen EVUs eingesetzt wird. Dieser Artikel zeigt, wie dieses und ähnliche Werkzeuge Reparaturmannschaften dabei helfen, die Stromversorgung so schnell und effizient wie möglich wiederherzustellen.

Betriebliche Produktivität

Zu Unterbrechungen in der Stromversorgung kann es auch bei weniger extremen Witterungsbedingungen wie starkem Regen oder Wind kommen. Wirklich schlimme Unwetter wie Hurrikane, Eisstürme und Gewitter können jedoch verheerende Auswirkungen auf elektrische Energieübertragungs- und Verteilungssysteme haben **1**, **2**. Obwohl die EVUs bemüht sind, die Stromversorgung möglichst schnell und sicher wiederherzustellen, können starke Unwetter zu massiven Ausfällen bei Verbrauchern führen, deren Behebung mehrere Tage oder gar Wochen in Anspruch nehmen und Hunderte oder Tausende von Mitarbeitern erfordern kann. So waren nach großen Stürmen¹⁾ wie tropischen Hurrikänen, Schnee- und Eisstürmen in der Vergangenheit nicht selten bis zu 10.000 Menschen zwei Wochen lang damit beschäftigt, die Versorgung für alle Verbraucher wiederherzustellen. Hinzu kommen Kosten von über 100 Mio. US-Dollar zur Wiederherstellung der Stromversorgung nach einem einzigen Sturm. In den meisten Fällen beginnt der Wiederherstellungsprozess mit Anrufen von

1 Starker Frost oder Vereisung kann beträchtlichen Schaden an Stromleitungen verursachen.



2 Schäden an Strommasten nach einem Hurrikan



Verbrauchern beim EVU oder der Anzeige einer Unterbrechung, z. B. durch das Auslösen automatischer Geräte. In einigen Ländern, in denen die Verteilnetze nicht mit umfassenden Fernüberwachungs- und Fernwirkssystemen ausgestattet sind, erfahren die EVUs häufig erst von Problemen im System, wenn ein Verbraucher einen Ausfall meldet. In diesem Fall sammelt (d. h. analysiert) das OMS eine Reihe von Ausfallmeldungen und ermittelt aus dem Muster der Anrufe den wahrscheinlichen Ort und die mögliche Ursache des Ausfalls. Daraufhin wird eine Mannschaft entsandt, um weitere Untersuchungen und ggf. Reparaturen durchzuführen.

Vor der Einführung von computergestützten Systemen wurden die eingehenden Telefonanrufe bei den EVUs entweder von Hand auf Formulare geschrieben oder in einen Computer eingegeben und ausgedruckt. Diese Formulare wurden dann manuell nach Stromkreisen sortiert und anschließend analysiert, um a) den elektrischen Standort jedes betroffenen Kunden zu bestimmen und b) die Ursache des Ausfalls zu ermitteln. Dieses Verfahren mag im alltäglichen Betrieb funktionieren, wenn die Anzahl der Anrufe und Ausfälle gering und das entsprechende Know-how im Unternehmen verfügbar ist. Bei großen Stürmen, bei denen leicht mehr als eine Million Anrufe auflaufen können, ist ein papierbasiertes System jedoch schnell überfordert. Hinzu kommt, dass mit der Pensionierung erfahrener Mitarbeiter das entsprechende Know-how häufig nicht mehr zur Verfügung steht. Neben dem physischen Schaden, den sie anrichten, haben Stürme nicht selten auch ernsthafte soziale Auswirkungen, sodass für die Reparaturen die bestmöglichen Entscheidungsunterstützungstools bzw. -systeme verfügbar sein sollten, um die Stromversorgung unter Berücksichtigung strengster Sicherheitsstandards so schnell und effizient wie möglich wiederherzustellen.

Fußnoten

¹⁾ Die Zerstörungen durch Katastrophen wie dem Hurrikan Katrina in den USA im Jahr 2005 sind nicht berücksichtigt.

²⁾ Weitere Informationen hierzu finden Sie in englischer Sprache unter www.abb.com/industries/seitp408/1592686e90c27d6ac1257026003981d2.aspx (November 2006)

Ausfallmanagementsysteme

Zu diesen Systemen gehören sogenannte Ausfallmanagementsysteme (Outage Management Systems, OMS). Diese helfen EVUs dabei, Kundenanrufe zu erfassen **Infobox 1** und Mannschaften an den Ort des Ausfalls zu entsenden. Um möglichst effizient zu arbeiten, benötigt ein OMS ein genaues und vollständiges Topologiemodell des Verteilnetzes vom Leistungsschalter in der Unterstation bis hin zum Kundentransformator. Die Niederspannungsseite wird normalerweise nicht modelliert, um die Größe des gesamten Netzmodells und die Kosten für die Erfassung und Pflege solcher detaillierter Daten in Grenzen zu halten.

Infobox 1 Ein Ausfallmanagementsystem im Überblick

Ein Ausfallmanagementsystem (Outage Management System, OMS) ermöglicht die effiziente Erfassung, Identifizierung und Behebung von Ausfällen sowie die Erzeugung und Bereitstellung wertvoller historischer Daten. Das OMS übernimmt Eingaben wie Telefonanrufe von Verbrauchern, SCADA-Telemetriedaten, automatische Zählerablesungen und andere Echtzeit-Daten und bestimmt die wahrscheinlichen Standorte der defekten oder beschädigten Einrichtungen, die zu den aktuellen Ausfällen geführt haben. Durch diese Analysen wird die Notwendigkeit zur Überprüfung von Abzweigen im Verteilnetz durch menschliche Mitarbeiter zur Lokalisierung der Ausfallursachen deutlich reduziert. Ferner ist das OMS in der Lage, Reparaturmannschaften automatisch zusammenzustellen, zu entsenden und zu verfolgen und bietet Softwarewerkzeuge, die ihre Sicherheit bei der Arbeit gewährleisten. Grafische Werkzeuge im System ermöglichen es den Bedienern in der Leitwarte des Verteilnetzes, den Netzzustand, das Muster der eingehenden Anrufe, bestätigte Ausfälle sowie die geplanten Standorte und Aufgaben der Reparaturmannschaften zu visualisieren. Außerdem kann es zur Überwachung und Kommunikation mit Mannschaften vor Ort an mobile Einsatzplanungssysteme für die Reparaturmannschaften angebunden werden. Darüber hinaus bietet das OMS eine Reihe von fortschrittlichen Analysetools – zum Beispiel zur Lastfluss- und Kurzschlussberechnung, Fehlerlokalisierung und Wiederherstellungsanalyse – die dem EVU eine effiziente Erstellung von Wiederherstellungsplänen und Berechnung der geschätzten Wiederherstellungszeit (Estimated Time to Restore, ETR) ermöglichen. So ist das Unternehmen in der Lage, Kunden regelmäßig über die Ausfallsituation und den Status der Wiederherstellung zu informieren.

Auf der grafischen Benutzeroberfläche (GUI) eines OMS können ein oder mehrere Abzweige gleichzeitig und das gesamte Verteilnetz als sogenannte „Weltkarte“ auf einer einzigen Anzeige dargestellt werden. Network Manager DMS²⁾ von ABB ist ein führendes Ausfallmanagementsystem, dessen typische grafische Anzeige in **3** dargestellt ist.

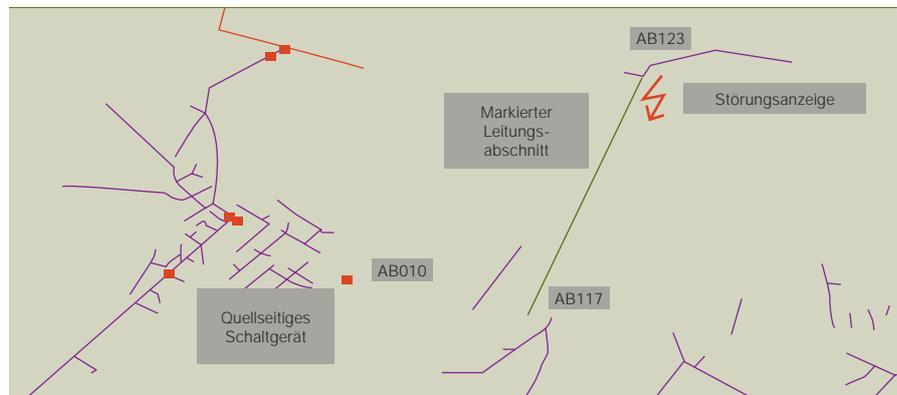
Die wesentlichen Echtzeit-Eingaben für das OMS sind sowohl Störungsmeldungen von den Kunden oder vom Notfallpersonal als auch Anzeigen von automatischen Geräten, die typischerweise von Fernwirk- und Datenerfassungssystemen (SCADA-Systemen) gesteuert werden. Das OMS ist in der Lage, sowohl einzelne als auch große Mengen solcher Meldungen entgegenzunehmen **Infobox 2**, zu analysieren und zu Einheiten zusammenzufassen, die sich leichter handhaben lassen. Die so gruppierten Meldungen werden zu einem sogenannten „Ausfall“ umgewandelt und an die GUI weitergeleitet, wo nicht nur die Orte der einzelnen Meldungen, sondern auch die Ergebnisse der Analyse dargestellt werden. Während ein Dispatcher, der sich mit den Ausfällen befasst, eher die Ausfälle als die einzelnen Meldungen angezeigt bekommen möchte, ist das OMS auch in der Lage, große Meldungsmengen in Echtzeit auf einer geografischen Anzeige darzustellen und diese Informationen gleichzeitig einer großen Zahl von EVU-Mitarbeitern zur Verfügung zu stellen.

Der grundlegende Arbeitsablauf für das Management von Ausfällen ist in

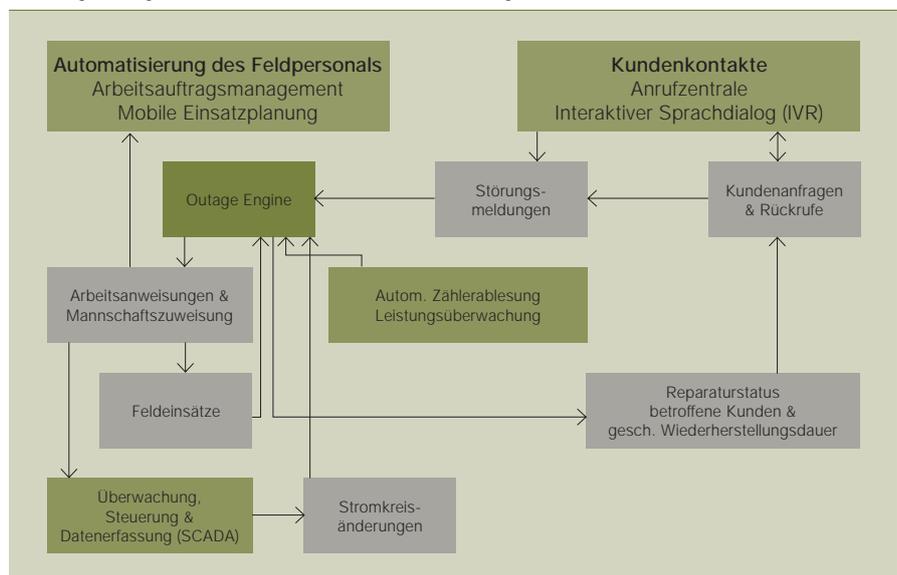
Infobox 2 Umgang mit großen Mengen von Störungsmeldungen

Große Mengen von Anrufen mit Störungsmeldungen, die noch vor wenigen Jahren ein Problem darstellten, sind mittlerweile alltäglich. Ein OMS wird typischerweise in Verbindung mit einem System zur automatisierten Bearbeitung von Kundenanrufen (Interactive Voice Response, IVR) eingesetzt. Diese Systeme können, wenn das IVR-System des EVUs bei sehr großen Anrufmengen überfordert ist, von Drittanbietersystemen unterstützt werden. Ein solches System ist in der Lage, mehrere Millionen Anrufe in der Stunde zu verarbeiten.

3 Grafische Benutzeroberfläche (GUI) eines Ausfallmanagementsystems



4 Der grundlegende Arbeitsablauf für das Ausfallmanagement



4 dargestellt. Die *Outage Engine* bildet das Herz des OMS und beinhaltet die *Störungsmeldungs-* und *Ausfallanalysefunktionen* sowie die entsprechenden Werkzeuge zum Entsenden von Reparaturmannschaften. Sie identifiziert Kunden mit Ausfällen, bestimmt und unterrichtet die zu entsendenden Mannschaften und verfolgt deren Arbeit, bis die Versorgung wiederhergestellt ist. Die *Outage Engine* analysiert kontinuierlich das in Betrieb befindliche Netz, um Ausfälle zu identifizieren und überwacht die Kunden, die ohne Stromversorgung sind.

Da Verteilnetze einem permanenten Veränderungsprozess unterliegen, lassen sich nur schwer aktuelle Daten über das in Betrieb befindliche Netz gewinnen. So kann sich das in Betrieb

befindliche Netz deutlich von dem Netz, wie es ausgelegt bzw. gebaut wurde, unterscheiden. Informationen über das geplante und ursprünglich gebaute Netz können möglicherweise von anderen Informationssystemen wie geografischen Informationssystemen (GIS) übernommen werden. Wenn es jedoch um eine sichere und effiziente Wiederherstellung des Netzes nach einem Ausfall geht, muss der aktuelle Zustand des Netzes von der Software kontinuierlich mithilfe der bestmöglichen manuellen, sprachlichen und telemetrischen Eingaben erfasst werden.

Anders als bei Übertragungsnetzen ist ein besonderes Problem bei Verteilnetzen die Möglichkeit des Hinzufügens von temporären Einrichtungen wie Leitungsunterbrechungen und

Betriebliche Produktivität

Überbrückungsleitungen. Solche temporären Einrichtungen sind in Übertragungsnetzen nicht üblich, werden aber in Verteilnetzen häufig eingesetzt. Da die meisten Verteilungssysteme in radialer Konfiguration betrieben werden, müssen zur Neukonfiguration von Abzweigen häufig Kuppelschalter betätigt werden – entweder um Ausfälle zu beheben oder das Netz an verschiedene Lastsituationen anzupassen. Es muss also möglich sein, Leitungen in der Systemdarstellung dynamisch einzufärben, um anzuzeigen ob sie a) eingeschaltet sind und b) in welche Richtung sie geschaltet sind.

Eine weitere Eigenschaft von Verteilnetzen ist, dass sie sich laufend verändern. Die Erschließung neuer Wohngebiete, die zunehmende Ausdehnung von Städten und Gemeinden sowie routinemäßige Wartungsarbeiten sorgen dafür, dass sich das Modell eines Verteilnetzes häufig ändert. Nicht selten kommt es zu 10.000 oder gar 100.000 Änderungen innerhalb einer einzigen Woche! Daher ist die Möglichkeit, solche Änderungen bei laufender Software umzusetzen, eine wichtige Voraussetzung.

Wiederherstellung nach Sturmschäden Ausfallsituationen in Verteilungssystemen lassen sich nach dem Umfang der verursachten Schäden und der Zahl der betroffenen Verbraucher klassifizieren:

- Normale, „alltägliche“ Ausfälle durch kleinere Stürme, Kontakt durch Tiere und herabfallende Äste stehen auf der untersten Ebene. Diese Aus-

fälle werden normalerweise lokal durch herkömmliche Ausfallmanagementprozesse behandelt.

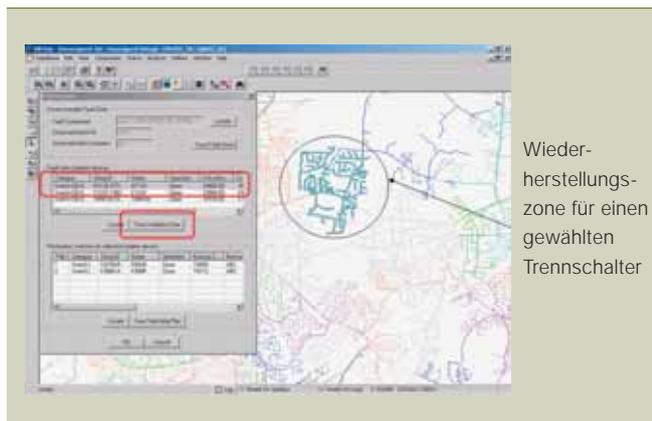
- Die nächste Ebene umfasst Ausfälle durch regionale Stürme, bei denen Masten oder Primäreinrichtungen in einem kleinen Gebiet innerhalb eines Betriebsbereichs beschädigt wurden und mehr Reparaturmannschaften als normal benötigt werden. Sind bei starken Stürmen größere Gebiete innerhalb des Betriebsbereichs betroffen, können zusätzliche „externe“ Ressourcen erforderlich sein. Dies gilt besonders, wenn mehrere Abzweige mechanisch beschädigt sind.
- Die zweithöchste Ausfallebene betrifft Stürme, die sich über mehrere Betriebsbereiche erstrecken und bei denen mehr als 10 % der Verbraucher ohne Strom sind. In diesem Fall müssen Ressourcen von anderen Betriebsbereichen hinzugezogen werden.
- Auf der höchsten Ebene ist nach einem starken Unwetter ein zentralisiertes Management erforderlich, um sowohl die internen Mannschaften als auch zusätzliche Ressourcen von anderen EVUs oder beauftragten Unternehmen zu koordinieren.

Die Wiederherstellungsarbeiten beginnen normalerweise bereits, bevor ein großer Sturm das Versorgungsgebiet erreicht hat, mit einer Abschätzung des Umfangs und der Position möglicher Schäden seitens des EVUs. Daraufhin werden Mannschaften in die entsprechenden Gegenden entsandt, um falls notwendig sofort mit den Reparaturen beginnen zu können,

wenn Sturmschäden auftreten. In diesem Fall erhält das EVU Schadensberichte von Erkundungsteams vor Ort. Diese Informationen zeigen, welche Teile des Stromkreises beschädigt sind und wo die Wartungsmannschaften eingesetzt werden müssen. Eine Darstellung des Wiederherstellungs-Supporttools ist in **5** zu sehen. Bei einem starken Sturm ist es sehr wahrscheinlich, dass sämtliche in der **Infobox 1** beschriebenen OMS-Entscheidungsunterstützungstools und -dienste zum Einsatz kommen.

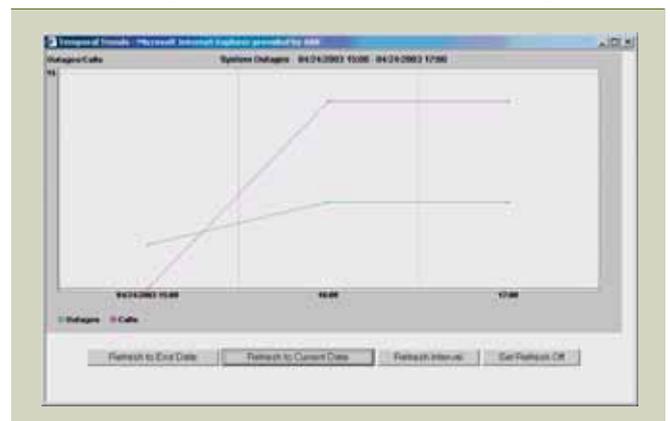
Zwei dieser Dienste sollen im Folgenden näher betrachtet werden. Der erste befasst sich mit der Abwicklung von außergewöhnlichen Wiederherstellungsprozessen unter Beteiligung einer größeren Zahl von Mannschaften, einschließlich „fremder“ Crews. Entsprechende Module (*Dispatch and Crew Administration Modules*) bieten webbasierte Funktionen zur Lenkung von Arbeitsaufträgen und zur Verwaltung von Mannschaftspersonal, Fahrzeugen und Ausrüstungen nicht nur von der zentralen Leitware, sondern auch von Service-Stützpunkten oder speziell eingerichteten „Sturmzentralen“ aus. Unter normalen Bedingungen wird das Verteilnetz typischerweise von einer zentralen Leitware aus verwaltet, die zusammen mit einer Reihe von verteilten Service-Stützpunkten für sämtliche routinemäßigen Schaltungen verantwortlich ist. Von diesen Service-Stützpunkten können bei Bedarf auch Mannschaften lokal unter Koordination der zentralen Leitware entsandt werden. Normalerweise

5 Bildschirmausdruck des Wiederherstellungssupporttools



Wiederherstellungszone für einen gewählten Trennschalter

6 Eine Trendanzeige zeigt die zeitliche Entwicklung von Meldungen und Ausfällen auf System- oder Zoneebene über einen beliebigen Zeitraum.



haben die Benutzer des OMS in den Service-Stützpunkten geringere Benutzerrechte als das Personal in der Leitwarte. Aufgrund der höheren Arbeitslast im Falle eines starken Unwetters kann die Leitwarte höhere Schaltaufgaben und die Berechtigung zur Entsendung von Mannschaften an die Service-Stützpunkte delegieren, um sich voll auf übergeordnete Koordinierungs- und Planungsaufgaben sowie das Schalten von wichtigen Elementen des NetZRückgrats zu konzentrieren. Die Grundlage hierfür ist ein äußerst flexibles und dynamisch anpassbares Autorisierungskonzept. Jeder Benutzer meldet sich mit einer spezifischen Benutzerrolle und einem Zuständigkeitsbereich im System an. Die Benutzerrolle basiert auf Verantwortlichkeiten und Qualifikationen. Die Zuständigkeitsbereiche definieren die Handlungsgrenzen für jeden Benutzer von einem einzelnen Gerät bis hin zu einem bestimmten geografischen Gebiet (z. B. einem Postleitzahlenbereich) oder einem bestimmten Abschnitt des Netzes (z. B. einer Gruppe von Abzweigen). Die Benutzerrollen und Zuständigkeitsbereiche können vordefiniert sein oder auf einfache Weise von einem Systemadministrator angepasst werden, um eine flexible und koordinierte Reaktion auf Unwetter seitens der Service-Stützpunkte und der zentralen Leitwarte zu ermöglichen.

Der zweite Dienst befasst sich mit der Bereitstellung präziser und zeitnaher Informationen für alle betroffenen Mitarbeiter des EVUs einschließlich der für die Information der Öffentlichkeit verantwortlichen Führungskräfte. Eine Reihe webbasierter Anwendungen des OMS ermöglicht es autorisierten Benutzern innerhalb des gesamten Unternehmens, Ausfall- und Betriebsinformationen anzuzeigen, abzufragen und entsprechend darauf zu reagieren. Alles, was sie benötigen, um diese Tools zu benutzen, ist ein Internetbrowser und entsprechende Zugriffsrechte. Zu den Anwendungen gehört auch ein sogenanntes *Executive Information Module*, das eine globale Übersicht der jeweiligen Situation mit Zusammenfassungen zu den einzelnen



Zonen liefert. Werden genauere Informationen benötigt, so können diese bei Bedarf auf untergeordneten Ebenen abgerufen werden. Zu den typischen Angaben in den Zusammenfassungen gehören die Anzahl der Ausfälle und der gefährlichen Ausfälle, die Gesamtzahl der Verbraucher ohne Strom und die der kritischen Verbraucher ohne Strom, die kumulierte Dauer aller Ausfälle, die maximale Ausfalldauer, die Anzahl der eingegangenen Meldungen, die Zahl der verfügbaren und zugewiesenen Mannschaften usw. Eine Trendanzeige zeigt die zeitliche Entwicklung von Meldungen und Ausfällen auf System- oder Zonenebene über einen beliebig definierbaren Zeitraum **6**.

Die Zukunft

Upgrades und Verbesserungen sind ein fester Bestandteil jedes software-basierten Werkzeugs oder Systems. Da jedoch die Häufigkeit zunimmt, mit der z. B. tropische Stürme auftreten, werden viele Verbesserungen lieber früher als später benötigt. Ein sinnvoller Ansatzpunkt wäre zum Beispiel die Verbesserung der Schadensprognose, da immer mehr bewohnte Gebiete von großen Unwettern in Form von Hurrikannen und Eisstürmen heimgesucht werden. Eine bessere Vorhersage möglicher Schäden und der zur Wiederherstellung der Versorgung erforderlichen Zeit und Ressourcen bietet EVUs die Möglichkeit, die rasche Entsendung und Bereitstellung der Ressourcen effizienter zu planen.

Die Prognose von Sturmschäden basiert auf einer genauen Vorhersage von Wettervariablen im Hinblick auf

Schäden an Verteilungsstromkreisen. Eine typische Variable bei Eisstürmen könnte zum Beispiel die Menge von Eis sein, die sich an den Bäumen in der Nähe von Freileitungen oder an den Leitungen selbst bildet. Windgeschwindigkeiten und die Dauer von Windböen hingegen könnten Variablen im Hinblick auf Hurrikane sein. In jedem Fall lässt sich der zu erwartende Schaden auf der Grundlage von historischen Daten und Modellen zur Störanfälligkeit der Verteilnetze vorhersagen. Aus diesen Einschätzungen können die Anforderungen hinsichtlich der Reparaturmannschaften direkt berechnet werden.

Die OMS-Stromkreismodelle lassen sich zur Analyse des Verhältnisses zwischen der Zuordnung von Mannschaften, prognostiziertem und bestätigtem Schaden sowie der geschätzten Zeit bis zur Wiederherstellung erweitern. Während des Wiederherstellungsprozesses können Führungskräfte nicht nur auf Berechnungen auf der Basis dieser erweiterten Modelle zurückgreifen, um zu sehen, wie sich die Bereitstellung weiterer Ressourcen auf die Zeit zur Wiederherstellung der Versorgung für die Verbraucher auswirkt, sondern sie können auch die kostengünstigste Nutzung der verfügbaren Ressourcen ermitteln.

Weitere Einzelheiten zu zukünftigen Verbesserungen beim Umgang mit sturmbedingten Störungen werden in [1] beschreiben.

Rafael Ochoa
Amitava Sen
ABB Inc.
Network Management Business Unit
Cary, NC, USA
rafael.ochoa@us.abb.com
amitava.sen@us.abb.com

Literaturhinweis

- [1] David Lubkeman, Danny E. Julian: „Large Scale Storm Outage Management“, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Juni 2004

Verzinkungshilfe

Ein elektromagnetisches Bandstabilisierungssystem zur Optimierung des Verzinkungsprozesses

Peter Lofgren, Mats Molander, Olof Sjöden



Jede unvorhergesehene Bewegung des Stahlbands beim Verzinkungsprozess kann zu Problemen führen. Bewegt sich das Band relativ zum Luftmesser, das das überschüssige Zink herunterbläst, wird die Beschichtung ungleichmäßig und entspricht eventuell nicht mehr den Qualitätsanforderungen. Außerdem können übermäßige Bewegungen des Bands zu Beschädigungen der Ausrüstungen führen. Als Antwort auf dieses Problem hat ABB ein elektromagnetisches Stabilisierungssystem entwickelt, das Vibrationen und Schwingungen am Luftmesser reduziert, ohne das Band zu berühren. Dies ermöglicht eine präzisere Kontrolle des Beschichtungsprozesses und somit eine höhere Produktqualität und höhere Liniengeschwindigkeiten. Hinzu kommen Kosteneinsparungen durch einen geringeren Zinkverbrauch infolge der gleichmäßigeren Beschichtung.

Nach erfolgreichen Probeläufen beim schwedischen Stahlhersteller SSAB Tunnpått AB [1] wurde nun das erste elektromagnetische Stabilisierungssystem an einer modernen Hochgeschwindigkeits-Verzinkungsanlage für ferromagnetische Stähle bei Thyssen Krupp Stahl in Deutschland installiert und getestet – mit beeindruckenden Ergebnissen. Daraufhin wurde der ABB EM Stabilizer im Oktober 2006 auf dem Markt eingeführt.

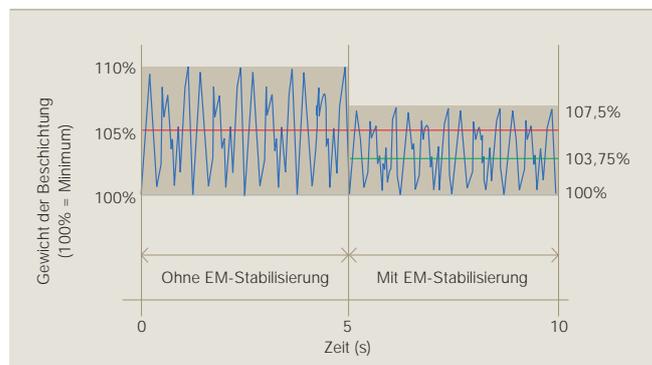
Das Herzstück einer Verzinkungsanlage ist das Zinkbad, in dem das Stahlband zum Schutz gegen Korrosion mit einer dünnen Zinkschicht überzogen wird. Die besondere Herausforderung für die Bedienmannschaft besteht darin, strikte Qualitätsanforderungen innerhalb bestimmter Kostenmargen zu erfüllen und gleichzeitig einen hohen Durchsatz zu gewährleisten. Fällt die Zinkschicht zu dünn aus, ist der Stahl nicht ausreichend geschützt. Wird die Zinkschicht hingegen zu dick, steigen die Kosten übermäßig.

Die Qualität hängt stark von den Schwingungen ab, die beim Entfernen des überschüssigen Zinks mithilfe des Luftmessers im Stahlband entstehen. Da es bisher keine Möglichkeit gab, diese Schwingungen zu messen oder zu dämpfen, musste sich der Anlagenfahrer auf eine Sichtprüfung der Bandoberfläche und eine spätere Messungen der Zinkschicht verlassen. Bei zu geringer Qualität bestand die einzige Lösung in der Verlangsamung der Produktion – eine äußerst unbeliebte Maßnahme, ganz gleich in welcher Industrie.

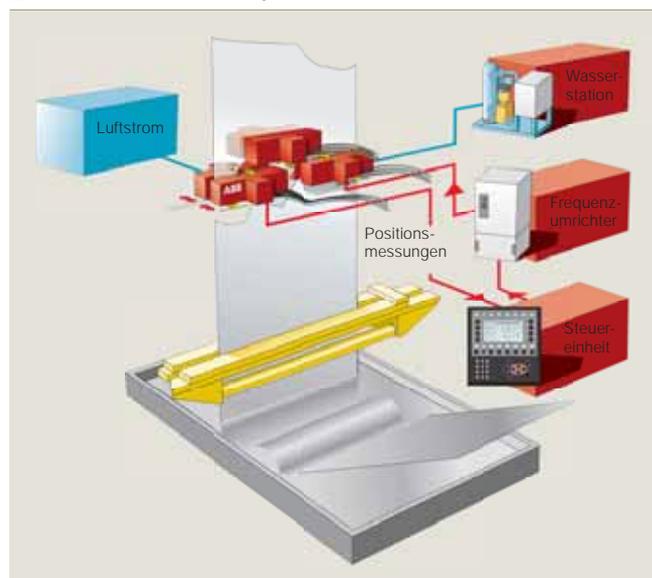
Der elektromagnetische (EM) Stabilizer von ABB bietet eine andere Lösung. Das System ist nicht nur in der Lage, die Schwingungen im Stahlband zu überwachen, sondern vermag diese auch auf ein konstant niedriges Maß zu dämpfen.

Vorteile der Schwingungsdämpfung
Durch die Reduzierung der Bandschwingungen lässt sich die Abblasfunktion des Luftmessers besser kontrollieren und eine gleichmäßigere Beschichtung erzielen. Dank der verbesserten Schwingungsunterdrückung kann der anfängliche Zinkauftrag reduziert werden, was dem Endkunden wiederum die Möglichkeit bietet, seine Produkte kosten-, gewichts- und qualitätsmäßig zu optimieren. Der größte Teil der Schwingungen in

- 1 Grafische Darstellung der Schwankungen im Gewicht der Zinkbeschichtung mit (rechts) und ohne Stabilisierung (links). Eine Reduzierung der Schwankungen von 10 % auf 7,5 % bewirkt eine Verringerung der durchschnittlichen Beschichtung (rote Linie) von 105 % auf 103,75 % des Minimums (grüne Linie) und eine potenzielle Zinkeinsparung von 1,25 %.



- 2 Das ABB EM Stabilizer System



Verzinkungsanlagen entsteht durch Unzulänglichkeiten in den mechanischen Komponenten der Anlage, durch die langen Strecken, die die Stahlbänder ohne Unterstützung zurücklegen, das Luftmesser sowie durch die Form und die Eigenschaften der Bänder selbst. Die Auswirkungen dieser Faktoren lassen sich zu einem gewissen Maß durch regelmäßige Überwachung und Wartung der kritischen Komponenten und Parameter wie Rollenlager und der Ausrichtung der Endrollen begrenzen, aber nicht vollständig eliminieren. Hinzu kommt, dass sich die Schwingungen besonders bei hohen Liniengeschwindigkeiten und längeren Strecken ohne Unterstützung der Stahlbänder bemerkbar machen.

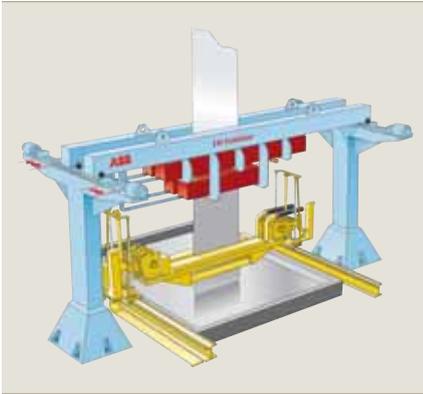
Die potenziellen Vorteile des ABB EM Stabilizers sind:

- Verbesserte Produktqualität durch eine gleichmäßigere Zinkbeschichtung
- Höhere Liniengeschwindigkeit bei gleichbleibender bzw. verbesserter Zinkbeschichtungsqualität
- Ruhigere Arbeitsumgebung: Durch die Reduzierung der Bandschwingungen kann das Luftmesser näher am Band positioniert werden. Dadurch ist ein geringerer Luftdruck erforderlich, was wiederum den Lärmpegel senkt.
- Kosteneinsparungen: Die zusätzliche Zinkbeschichtung zur Kompensierung der Bandschwingungen (Überzinkung) beträgt 5–15 g/m² und macht rund 5–10 % des Zinkverbrauchs aus. Da Zink recht teuer ist, werden sich die Kosten für den ABB EM Stabilizer auch bei einer geringen Reduzierung des Zinkverbrauchs rasch amortisieren.

Das Beispiel in 1 zeigt, wie Einsparungen beim Zink durch Reduzierung der Bandschwingungen erzielt werden können. Links ist der Prozess ohne Stabilisierung, rechts mit Stabilisierung dargestellt. Ohne den ABB EM Stabilizer wird eine Überzinkung von 5 % benötigt, d. h. das durchschnittliche Gewicht der Beschichtung liegt bei 105 % des spezifizierten Werts. Diese Überzinkung sorgt dafür, dass die Zinkschicht trotz Schwankungen im Gewicht der Beschichtung (hier 105 % ± 5 %) an keiner Stelle dünner ist als gefordert (100 %). Durch die Reduzierung der Schwingungen werden die Schwankungen in der Zinkbeschichtung von ± 5 % auf ± 3,75 % verringert. Damit kann der Sollwert von 105 % auf 103,75 % gesenkt werden, ohne dass die Gefahr eines zu geringen Zinkauftrags besteht. Dies entspricht einer Zinkeinsparung von 1,25 % bzw. einer 25%igen Reduzierung des unnötigen Zinkverbrauchs.

Betriebliche Produktivität

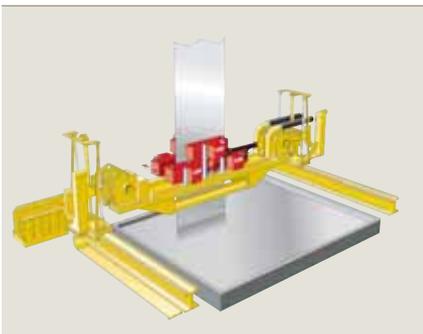
3 Installation des ABB EM Stabilizers an einem auf zwei Säulen ruhenden Träger



4 Hängende Installation des ABB EM Stabilizers an einer Stahlkonstruktion



5 Installation des ABB EM Stabilizers in der Nähe des Luftmessers



6 Zinkdickensensor-Plattform mit ABB EM Stabilizer Magneten



Das ABB EM Stabilizer System

Ausrüstung

Zu den Hauptbestandteilen des ABB EM Stabilizer gehören sechs Elektromagneten, eine Kühlwasserstation sowie ein Schaltschrank mit drei Frequenzumrichtern und eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). Die Frequenzumrichter regeln die Stromzufuhr zu jeweils einem Elektromagnetpaar. Darüber hinaus verfügt der ABB EM Stabilizer über mehrere luftgekühlte Positionssensoren zur räumlichen und zeitlichen Erkennung der Bandposition. Der Stabilizer wird von einem Bedienpanel mit Alarmanzeigen bedient [2].

Jeder Elektromagnet besteht aus einem Eisenkern mit elektrischen Wicklungen, die in Reihe geschaltet sind und mit Wasser gekühlt werden. Die Magnete sind in Edelstahlgehäusen untergebracht und zur Regelung der dreidimensionalen Bewegungen im Stahlband paarweise angeordnet. Jeweils ein Magnet befindet sich auf der Vorder- und auf der Rückseite des Bands. Zwei Magnetpaare sind so angeordnet, dass sie die linke und rechte Seite des Bands abdecken, während sich das dritte Paar über oder unterhalb der beiden anderen Magnetpaare befindet. Die Positionssensoren sind auf einer Führung zwischen den beiden Magnetebenen montiert. Die seitlichen Magnete beseitigen gemeinsam seitliche Verdrehungen des Bands sowie Schwingungen der ersten Ordnung. Die mittleren Magnete haben die Aufgabe, statische Verformungen des Bands (typischerweise Querbiegungen) auszugleichen und den hin und her pendelnden Anteil der Schwingungen zu beseitigen.

Funktion

Der ABB EM Stabilizer nutzt die magnetischen Eigenschaften von ferromagnetischem Stahl und verwendet drei „halbstatische“ Magnetfelder, um das durchlaufende Band zu beeinflussen. Die Positionssensoren messen die Abweichung zwischen dem aktuellen und optimalen Abstand des Bands und leiten diese Information an die Regelung weiter. Typische Bandschwingungen liegen im Bereich von 1–10 Hz, d. h. der Regelungsalgorithmus muss viel schneller sein, um eine dämpfende Wirkung zu erzielen.

Installation

Die mechanische Anordnung der Magnete ist auf die jeweilige Produktionslinie zugeschnitten. Mögliche Anordnungen des ABB EM Stabilizers über dem Luftmesser sind in [3] und [4] dargestellt. Die in [3] gezeigte Methode wurde bei den ersten Probeläufen bei SSAB Tunntplät AB in Schweden verwendet.

Für eine maximale Schwingungsdämpfung sollten die Magnete wie in [5] gezeigt in der Nähe der Düsen des Luftmessers platziert werden. Ist dies nicht möglich, können sie auch an einer Stahlkonstruktion hängend angebracht werden [4]. (Hier sind die unteren Magnete etwa 1,8 m vom Luftmesser entfernt.) Diese Installationsmethode wurde bei Thyssen Krupp Stahl (TKS) in Deutschland verwendet, um die in der **Infobox** aufgeführten Kriterien zu erfüllen. Eine Hälfte des an der Plattform der Zinkdickensensoren aufgehängten ABB EM Stabilizers ist in [6] zu sehen.

Ergebnisse

Um die Wirkung des Stabilisierungssystems zu prüfen, wurden die Bandschwingungen und Schwankungen in der Dicke der Zinkbeschichtung mit und ohne Stabilisierung verglichen. Dazu wurde der Stabilizer an einer Vielzahl von Bändern (feuerverzinkt/galvannealed, für Außenhaut-/Innenbleche, dünne/dicke, schmale/breite Bänder usw.) und Linienparametern (dünne/dicke Beschichtung, hohe/niedrige Liniengeschwindigkeiten, starker/schwacher Bandzug usw.) getestet. Sämtliche Prüfungen wurden an einzelnen Ringen durchgeführt, von denen nach dem Zufallsprinzip jeweils eine Hälfte mit und eine Hälfte ohne EM-Stabilisierung gefahren wurde. Die Schwankungen im Gewicht der Zinkbeschichtung wurden mithilfe eines „kalten“ Zinkdickensensors gemessen (d. h. die Messung erfolgt, nachdem das

Infobox Liniendaten TKS GL Nr. 4

Produzierte Qualitäten	Karosserieaußenhaut/-innenbleche, feuerverzinkt/galvannealed
Liniengeschw.	bis zu 180 m/min
Breite	1.100–2.040 mm
Dickebereich	0,6–1,6 mm
Jahresproduktion	500.000 t

Band abgekühlt ist). Die Messung der Bandschwingungen mit und ohne Stabilisierung erfolgte mithilfe der Sensoren des ABB EM Stabilizers bzw. mithilfe von mobilen Sensoren, die am Träger des Luftmessers montiert wurden.

Die hier beschriebenen Ergebnisse sind typisch für die ermittelten Resultate und können als Durchschnittswerte über die Menge der stabilisierten Ringe betrachtet werden.

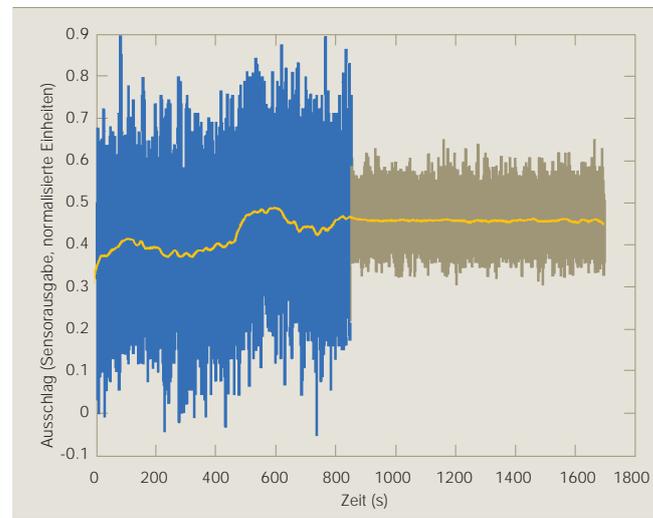
Bandschwingungen und Schwankungen der Zinkdicke

Typische Schwingungen mit und ohne Stabilisierung sind in 7 dargestellt. Durch die Stabilisierung wurden nicht nur die Schwingungen um den Faktor zwei oder mehr verringert, sondern auch niederfrequente Bewegungen des Bands („Schlängeln“ mit einer Periodendauer von mehreren Minuten) reduziert. Besonderes Augenmerk wurde auf die Untersuchung der potenziellen Zinkeinsparungen durch die Bandstabilisierung gelegt. 8 zeigt die Gewichtsverteilung der Zinkbeschichtung mit und ohne Stabilisierung. Der ABB EM Stabilizer bewirkt eine deutliche Verringerung der Gewichtsschwankungen in der Beschichtung. Das Ergebnis ist eine Reduzierung der Überzinkung von 25 % (von 4 g/m² Zink auf 3 g/m²) und eine Gesamtersparnis von 2 %.

Weitere Beobachtungen

Der ABB EM Stabilizer wurde an einer Verzinkungslinie bei TKS installiert, an der große Mengen von Blech für Karosserieaußenteile produziert werden. Da hier eine extrem hohe Oberflächenqualität gefordert ist, war es wichtig, dass sich das Stabilisierungssystem in keins-

7 Typische Bandschwingungen ohne (blau) und mit Stabilisierung (grün)



ter Weise negativ auf die Oberfläche auswirkt.

Während der Tests

- konnten keine negativen Auswirkungen auf die Oberflächenqualität festgestellt werden – weder durch Sichtprüfung noch durch Anschleifprüfungen,
- erwies sich der Abstand zwischen den Magneten auf beiden Seiten des Bands als ausreichend.

Darüber hinaus erwies sich der ABB EM Stabilizer als hervorragend geeignet für die rauen Einsatzbedingungen am Zinkbad. Das System ist unempfindlich gegen Zinkstaub und in der Lage, Temperaturen bis zu 100 °C zu widerstehen. Die derzeitige Positionierung des Stabilizers in einer Entfernung von ca. 1,8 m vom Luftmesser führte bereits zu beachtlichen Ergebnissen. Weitere Leistungsverbesserungen werden von Installationen erwartet, bei denen das System noch näher am Luftmesser platziert ist.

Zusammenfassung

Die Installation des ABB EM Stabilizers an einer Verzinkungslinie bei TKS in Deutschland hat gezeigt, welche Vorteile eine Reduzierung der Schwingungen und seitlichen Bewegungen der Stahlbänder bei der Verzinkung hat. Die an einer großen Zahl von Ringen erzielten Ergebnisse beweisen, dass beachtliche Verbesserungen im Hinblick auf Kosteneinsparungen und eine höhere Produktqualität möglich sind, ohne dass negative Auswirkungen beobachtet wurden. Die Ergebnisse wurden bei einer Entfernung des Stabilisierungssystems zum Luftmesser

von ca. 1,8 m erzielt. Weitere Verbesserungen sind bei Installationen zu erwarten, in denen das System noch näher am Luftmesser angeordnet wird, da der stabilisierende Effekt hier noch stärker zum Tragen kommt. Der ABB EM Stabilizer wurde im Oktober 2006 auf dem Galvanizers' Association Meeting in Columbus (Ohio, USA) auf dem Markt eingeführt.

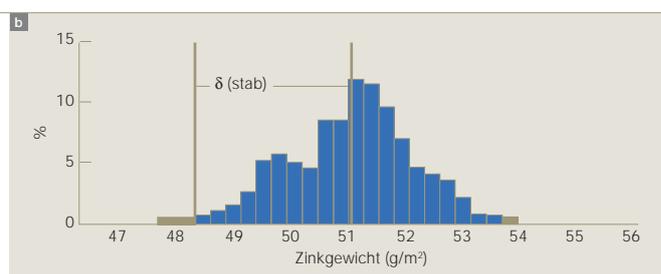
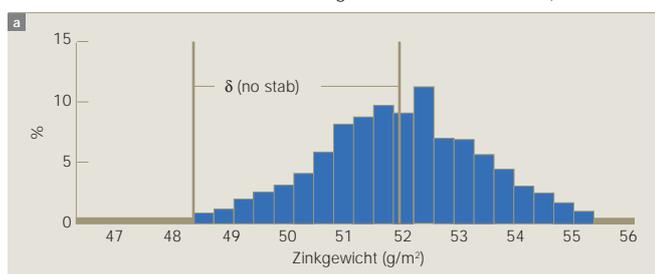
Peter Löfgren
Mats Molander
ABB Corporate Research,
Västerås, Schweden
peter.lofgren@se.abb.com
mats.a.molander@se.abb.com

Olof Sjöden
ABB Automation Technology AB,
Västerås, Schweden
olof.sjoden@se.abb.com

Literaturhinweis

- [1] Olof Sjöden, Peter Löfgren, Hans Sollander, Mats Molander: „Stabilisierende Wirkung – Berührungslöse Schwingungsdämpfung bei der Verzinkung von Stahlbändern“, ABB Technik 4/2005

8 Typische Verteilung des Zinkgewichts in der Beschichtung ohne a) und mit Stabilisierung b) mit der potenziellen Zinkeinsparung δ (no stab)- δ (stab). b) wurde für eine mögliche Senkung des Beschichtungssollwerts angepasst (99 % der Werte werden von den blauen Balken abgedeckt, d. h. nur 0,5 % der Werte dürfen größer oder kleiner sein.)



Intelligente Alarmierung

Effektives Alarmmanagement verbessert die Sicherheit, Fehlerdiagnose und Qualität

Martin Hollender, Carsten Beuthel



Angesichts immer größer und komplexer werdender Industrieanlagen sind immer ausgeklügeltere Alarmsysteme erforderlich, um Anlagenfahrer über mögliche Probleme zu informieren. Bei Hunderten von parallel ablaufenden Vorgängen ist es selbst im Normalbetrieb schwierig, jeden Alarm zu berücksichtigen. Ohne ein sorgfältiges Alarmmanagement wird es nicht ausbleiben, dass selbst der gewissenhafteste Bediener den einen oder anderen Alarm ignoriert. Nicht selten werden störende Alarme deaktiviert, was dann später katastrophale Folgen haben kann.

ABB bietet mehrere Werkzeuge zum Alarmmanagement an, die dabei helfen, eine Überlastung der Anlagenfahrer durch Alarme zu vermeiden. Das Power Generation Information Management (PGIM) System beinhaltet Funktionen für das Alarm- und Ereignismanagement, und mit dem System 800xA ist es möglich, Alarme unter bestimmten Bedingungen auszublenden, um die Bediener nicht mehr als nötig abzulenken. Zusätzlich bietet ABB Engineering Services in Zusammenarbeit mit lokalen ABB-Projektgruppen Beratungsleistungen zum Alarmmanagement an.

In modernen Leitsystemen lassen sich heute sehr einfach große Mengen von isolierten Einzelalarmen konfigurieren. Dies führt häufig dazu, dass auch im Normalbetrieb sehr viele Alarme generiert werden (über 2.000 Alarme pro Tag und Bediener sind in vielen Anlagen keine Seltenheit). Bei Prozessstörungen, sind es oft noch erheblich mehr. Bei dieser Masse von Alarmen kann von keinem Anlagenfahrer erwartet werden, dass er auf jeden einzelnen Alarm angemessen reagiert.

In der Öl- und Gasindustrie ist Alarmmanagement gängige Praxis und in vielen Ländern auch gesetzlich vorgeschrieben. Andere Branchen wie die Energiewirtschaft, die Zellstoff- und Papierindustrie sowie die chemische Industrie folgen nach. Im Jahr 1999 veröffentlichte die Engineering Equipment and Materials Users Association (EEMUA) die Richtlinie EEMUA 191 [1] zum Design, Management und zur Beschaffung von Alarmsystemen. Dieses Dokument hat sich mittlerweile zum weltweiten De-facto-Standard für das Alarmmanagement entwickelt. Zu den Kernaussagen der Richtlinie gehört, dass jeder Alarm für den Anlagenfahrer nützlich und von Bedeutung sein sollte, wobei die langfristige durchschnittliche Alarmrate, die für einen Anlagenfahrer im Dauerbetrieb zumutbar ist, bei etwa einem Alarm in zehn Minuten liegen sollte. Außerdem sollten für jeden Alarm Handlungsanweisungen für die Anlagenfahrer vordefiniert werden.

Die grundsätzlichen Empfehlungen [2] für das Alarmmanagement sind:

- Alarmraten und andere Leistungskennwerte für Alarme messen und mit den Empfehlungen der EEMUA 191 bzw. mit Werten von Referenzanlagen vergleichen.
- Bereiche mit dem besten Kosten/Nutzen-Verhältnis identifizieren – häufig kann ein Alarmsystem mit relativ wenig Aufwand erheblich verbessert werden.
- Unnötige Alarme vermeiden – z. B. durch Tuning von Regelkreisen, Austausch defekter Sensoren und Änderung des Status von Alarm zu Ereignis.
- Alarmkennwerte regelmäßig messen, um sicherzustellen dass sie im Sollbereich liegen.

Diese kostengünstigen ersten Schritte beziehen sich auf den Normalbetrieb. Sobald dieser unter Kontrolle ist, besteht der nächste Schritt darin, die Alarmflut bei Prozessstörungen einzudämmen.

Die aktuelle Situation in der Praxis

In den Leitwarten vieler heutiger Anlagen lassen sich leicht Symptome für schlechtes Alarmmanagement finden. Dazu gehören:

- Bildschirme sind ständig mit Alarmen gefüllt
- Häufige Alarme im Normalbetrieb und noch mehr bei Störungen
- Alarme bleiben für lange Zeiträume (Tage oder Wochen) stehen
- Alarme werden ohne je aufgenommen worden zu sein „blind“ quittiert
- Anlagenfahrer empfinden das Alarmsystem nicht als Unterstützung ihrer Arbeit
- Aktustische Alarme werden wegen der konstanten Lärmbelastigung deaktiviert

In Extremfällen wird das Alarmsystem von den Anlagenfahrern vollständig ignoriert, und die Anlage könnte besser gefahren werden, wenn im Leitsystem überhaupt keine Alarme konfiguriert worden wären!

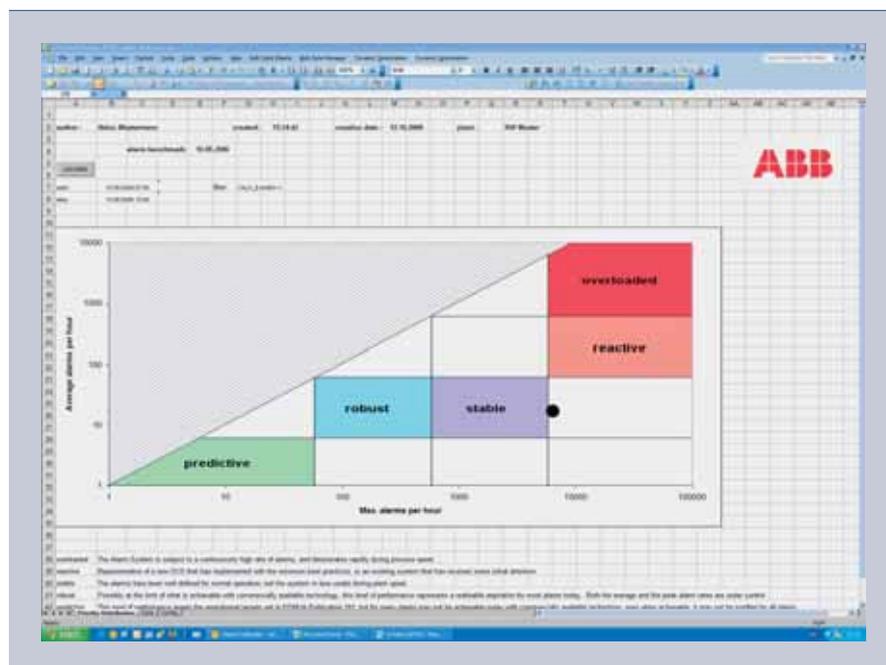
In großen sicherheitskritischen Anlagen wie Raffinerien oder Offshore-Platt-

formen ist Alarmmanagement oft gesetzlich vorgeschrieben. Sorgfältige Analysen von Unfällen wie der Explosion in der Texaco-Raffinerie in Milford Haven (1994) zeigen deutlich, dass schlechtes Alarmmanagement das Unfallrisiko erhöht. In Milford Haven mussten die Anlagenfahrer (ein Team aus zwei Mitarbeitern) in den letzten 11 Minuten vor der Explosion auf 275 verschiedene Alarme reagieren. Aus diesem Grund schreiben einige Behörden wie die britische Health and Safety Executive (HSE) und das Norwegian Petroleum Directorate [3] die Implementierung eines systematischen Alarmmanagements für sicherheitskritische Anlagen vor.

Wenn es Anlagenfahrern gelingt, kritische Situationen zu stabilisieren und Notabschaltungen zu verhindern, erhöht dies nicht nur die Sicherheit, sondern es ergeben sich auch beträchtliche wirtschaftliche Vorteile, denn ungeplante Abschaltungen können äußerst kostspielig werden, und durch verbessertes Alarmmanagement kann zudem die Wirtschaftlichkeit eines Prozesses gesteigert werden.

Die EEMUA 191 beinhaltet eine Reihe von Empfehlungen für das Alarmmanagement, die allerdings nicht verbindlich sind. Das Dokument beschreibt jedoch systematische Vorgehensmodelle und wird von mehreren

- 1 Benchmarking von Alarmmanagement-Kennwerten, erstmals vorgeschlagen von Campbell Brown, British Petroleum



Kontrollbehörden verwendet. Richtlinien wie die Namur NA102 [4] und die derzeit in Vorbereitung befindliche ISA RP18.2 [5] basieren auf den Ideen der EEMUA 191. Schwerpunkt der Richtlinien sind die Limitierungen und Fähigkeiten des Menschen zur Informationsverarbeitung sowie die Bedienbarkeit von Alarmsystemen aus der Sicht des Benutzers. Früher war es üblich, Fehler auf menschliches Versagen zurückzuführen, wenn ein Anlagenfahrer einen wichtigen Alarm übersehen hatte. Laut EEMUA 191 kann der Anlagenfahrer aber nicht verantwortlich gemacht werden, wenn die Alarmraten nicht auf ein vernünftiges Maß reduziert wurden.

Die EEMUA 191 benennt mehrere leicht messbare Kennwerte, mit denen die Qualität eines Alarmsystems beurteilt werden kann:

- Die durchschnittliche Alarmrate im Normalbetrieb über einen längeren Zeitraum sollte möglichst weniger als 1 Alarm in 10 Minuten betragen.
 - Die Anzahl der Alarme in den ersten 10 Minuten nach einer größeren Anlagenstörung sollte unter 10 liegen.
 - Die empfohlene Prioritätsverteilung für Alarme ist hoch (5 %), mittel (15 %) und niedrig (80 %).
 - Die durchschnittliche Anzahl an Langzeitalarmen sollte unter 10 liegen.
- Die EEMUA 191 liefert eine praktikable Methodik, um die in einer Anlage

erreichte Qualität des Alarmsystems mit dem branchenüblichen Stand der Technik zu vergleichen.

Grundlagen des Alarmmanagements

Ein wichtiger erster Schritt beim Alarmmanagement ist die Erfassung sämtlicher Alarm- und Ereignismeldungen (A&E-Meldungen) und ihre Speicherung in einer elektronischen Datenbank. In einigen Anlagen werden noch Alarmedrucker verwendet, doch diese Geräte sind wartungsintensiv und können dazu führen, dass wertvolle Informationen zwar archiviert aber später niemals genutzt werden. Alarmmanagementwerkzeuge wie Power Generation Information Management (PGIM) können über den OPC¹⁾ A&E-Standard oder einen Druckeranschluss mit verschiedenen Leitsystemen verbunden werden. Mit PGIM können A&E-Meldungen, die in einer SQL²⁾ Server-Datenbank gespeichert sind, einfach und komfortabel durchsucht und gefiltert werden. Im Folgenden sollen die typischen Schritte eines Alarmmanagementprojekts umrissen werden (eine detaillierte Beschreibung findet sich in [6]).

Benchmarking

Nachdem eine ausreichende Menge von Daten einer Anlage erfasst wurde, können Kennwerte ermittelt und mit Daten von Referenzanlagen, wie sie

auch in der EEMUA 191 zu finden sind, verglichen werden. Auf der Basis der ermittelten Kennwerte kann eine möglichst gut angepasste Alarmmanagementstrategie entwickelt werden [1].

Entwicklung eines Alarmkonzepts

In jeder Anlage sollte ein in sich konsistentes, anlagenweites Alarmkonzept als schriftliches Dokument vorliegen. Darin müssen die Methoden und Regeln zur Festlegung von Alarmkonfigurationsparametern (z. B. ihre Priorisierung) ebenso definiert sein wie die Rollen und Zuständigkeiten der Anlagenfahrer sowie das Änderungsmanagement für die Alarmkonfigurationsparameter. Vielfach wurde ein solches Dokument bereits in der Planungsphase der Anlage erstellt. Ist ein Alarmkonzept noch nicht vorhanden, muss es spätestens im Rahmen des Alarmmanagementprojekts erstellt werden.

Beseitigung von unnötigen Alarmen

Unnötige Alarme (engl. nuisance alarms) sind Alarme, die keine Reaktion des Anlagenfahrers erfordern und daher keinen Wert für den Anlagenfahrer haben. Derartige Alarme gibt es in vielen Anlagen, und durch ihre Beseitigung lässt sich die Alarmrate mit geringem Aufwand häufig deutlich reduzieren. Ein sehr nützliches Tool zur Identifizierung von unnötigen Alarmen ist die PGIM-Hitliste, die Alarme nach der Häufigkeit ihrer Aktivierung sortiert. In vielen Alarmmanagementprojekten hat sich gezeigt, dass eine kleine Anzahl von Alarmen für einen unverhältnismäßig großen Teil der gesamten Alarmrate verantwortlich ist.

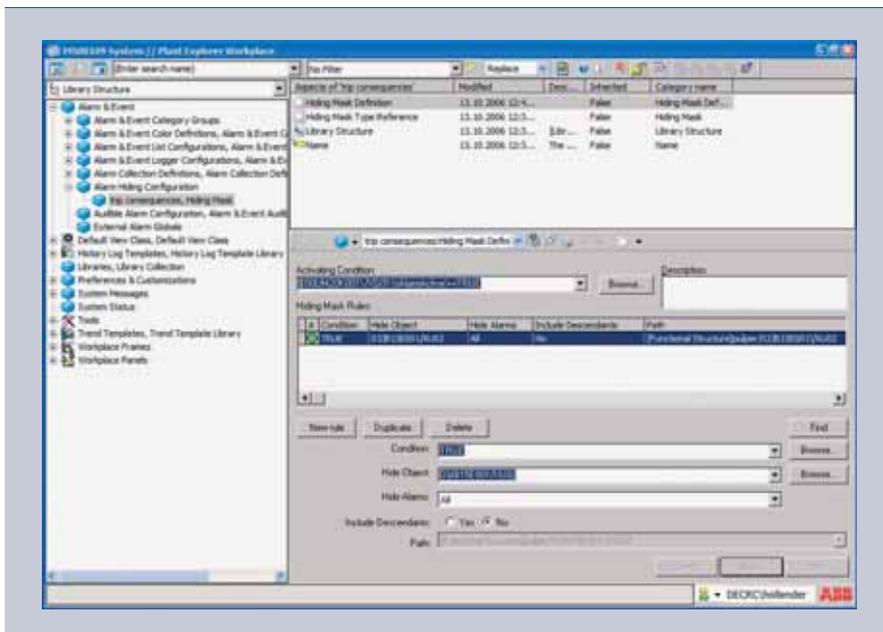
Typische unnötige Alarme sind:

- „Flatternde“ Alarme, hervorgerufen durch schlecht eingestellte Regelkreise, fehlerhafte Sensoren oder Prozessrauschen
- Alarme, die keine Reaktion des Anlagenfahrers erfordern und daher als Ereignis umkonfiguriert werden sollten

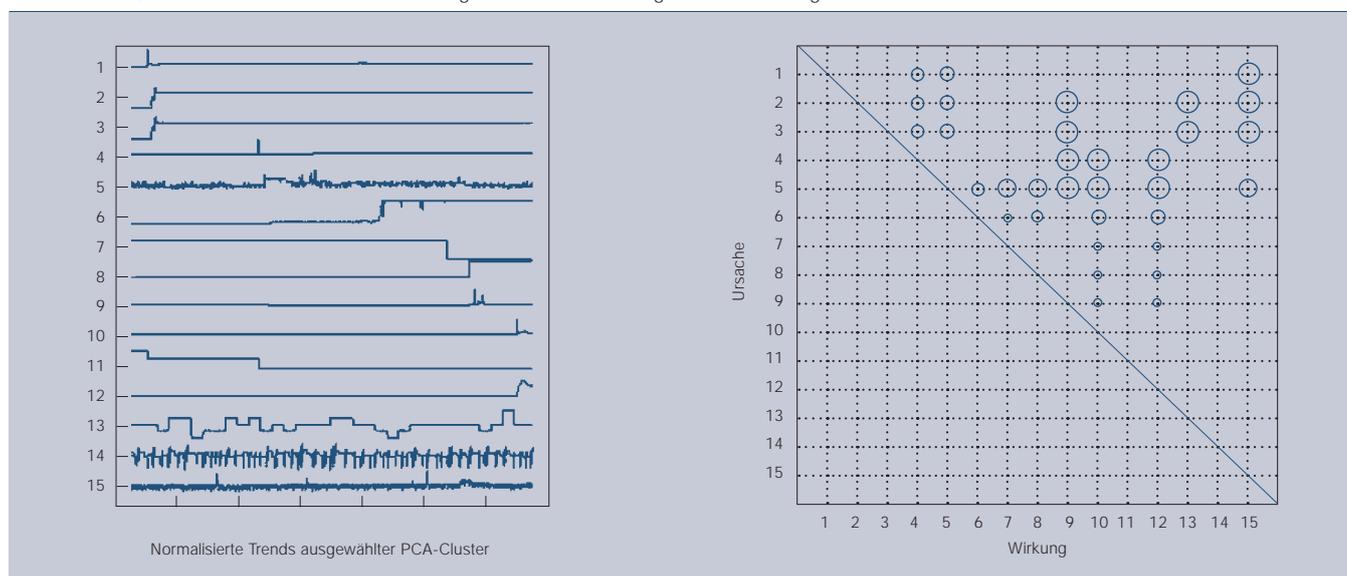
Alarmrationalisierung

In diesem Schritt wird jeder einzelne Alarm mit dem Alarmkonzept abgeglichen. Dazu gehört die Bestimmung und Dokumentation der Gründe und Designanforderungen für jeden Alarm. Außerdem sollen die Konfigurationsparameter, mögliche Konsequenzen

2 Maske im System 800xA zum Ausblenden von Alarmen



3 Abbildung kausaler Zusammenhänge zwischen Prozessgrößen. Die Variable 15 weist einen starken kausalen Zusammenhang mit den Variablen 1, 2 und 3 auf. Dies kann als Grundlage für die Formulierung von Ausblenderegeln verwendet werden.



und Korrekturmaßnahmen sowie die Priorität für jeden Alarm erfasst werden. Die Prioritätsfestlegung basiert häufig auf den potentiellen Folgen bei Nichtbeachtung des Alarms und der dem Anlagenfahrer verbleibenden Reaktionszeit.

Kontinuierliche Verbesserung

Da sich die Anlage mit der Zeit verändert, ist es wichtig, Alarmmanagement als routinemäßigen Bestandteil in den Betriebsabläufen zu verankern. (In den USA wird Alarmmanagement häufig im Zusammenhang mit „Six Sigma“-Programmen gesehen, die auf eine kontinuierliche und messbare Prozessverbesserung abzielen.)

Ausblenden von Folgealarmen

Unfälle wie der in Milford Haven zeigen, dass Anlagenfahrer besonders in Extremsituationen von einer Alarmflut überwältigt werden können. Das liegt daran, dass eine einzige Ursache viele unterschiedliche Folgen haben kann, die jeweils zusätzliche Alarme auslösen. Das bisher beschriebene grundlegende Alarmmanagement hilft in solchen Situationen nur wenig weiter. Um das von der EEMUA formulierte Ziel von maximal 10 Alarmen in den ersten 10 Minuten einer Prozessstörung zu erreichen, müssen wesentlich komplexere Maßnahmen ergriffen werden. Das System 800xA von ABB verfügt über eine Funktion, mit der bestimmte Alarme abhängig vom Prozesszustand

oder anderen bereits aktiven Alarmen aus der Alarmliste ausgeblendet, bei Bedarf aber leicht wieder eingeblendet werden können 2.

Die Bestimmung von kausalen Zusammenhängen zwischen Alarmen, die zur Konfiguration von Ausblenderegeln erforderlich sind, ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Einige handelsübliche Alarmmanagementwerkzeuge sind in der Lage, Korrelationskoeffizienten zwischen Alarmen zu berechnen. Diese Analyse kann dann als Grundlage für die Konfiguration von Ausblenderegeln verwendet werden. Diese Werkzeuge verwenden allerdings nur binäre Daten (Alarm ein/aus) und nicht die gesamte Bandbreite der ursprünglichen Prozessdaten. Durch eine Analyse von aufgezeichneten Prozessmesswerten lassen sich präzisere und weitergehende Informationen über die kausalen Zusammenhänge gewinnen.

Um das Potenzial dieses Ansatzes zu überprüfen, wurden die historischen Messwerte mehrerer Tage von zwei verschiedenen Anlagen mit Verfahren zur Analyse von Prozessstörungen (Process Disturbance Analysis, PDA) analysiert [7]. Dabei wurden einige interessante kausale Zusammenhänge entdeckt, die zurzeit gemeinsam mit Prozessexperten aus den Anlagen untersucht werden 3.

Martin Hollender

ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland
martin.hollender@de.abb.com

Carsten Beuthel

ABB Power Generation
Mannheim, Deutschland
carsten.beuthel@de.abb.com

Literaturhinweise

- [1] EEMUA 191: „Alarm Systems. A Guide to Design, Management and Procurement“, 1999, ISBN 0 8593 1076 0 (<http://www.eemua.co.uk>)
- [2] Tanner, R., Gould J., Turner, R. and Atkinson T.: „Keeping the peace (and quiet)“, ISA InTech, September 2005
- [3] Norwegian Petroleum Directorate YA-711: „Principles for alarm system design“, 2001 (http://www.ptil.no/regelverk/R2002/ALARM_SYSTEM_DESIGN_E.HTM)
- [4] Namur NA102: „Alarm Management“, 2005
- [5] Hollifield, E. Habibi: „The Alarm Management Handbook“, 2006
- [6] Horch, A.: „Störungen auf der Spur“, ABB Technik 1/2007, S. 24–29
- [7] ISA RP18.2: „Management of Alarm Systems for the Process Industries“ (Entwurf)

Fußnoten

- ¹⁾ OPC: früher OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control
- ²⁾ SQL: Structured Query Language



Störungen auf der Spur

Ursachenanalyse von anlagenweiten Störungen

Alexander Horch, John W. Cox, Nunzio Bonavita

Störungen und Oszillationen in Produktionsprozessen haben normalerweise erhebliche Auswirkungen auf die Produktqualität, Betriebskosten und die Rentabilität, denn häufig muss die Produktion von ihren optimalen Einstellungen abweichen, um solchen Unregelmäßigkeiten im Prozess Rechnung zu tragen.

Ein internationales Forschungs- und Entwicklungsteam hat nun eine innovative Lösung für die Analyse von anlagenweiten Störungen entwickelt. Nach umfangreichen Feldversuchen und der Zusammenstellung von Anforderungen wurde ein *Plant-wide Disturbance Analysis Module* produziert und erfolgreich beim Chemieunternehmen Eastman Chemicals in Kingsport, Tennessee eingesetzt.

Zur Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit werden in modernen Prozessanlagen verstärkt Möglichkeiten zum Recycling von Prozessströmen und zur Wärmeintegration genutzt. Diese Integration von Masse und Energie kompliziert die Prozessführung, da sich Schwankungen auf komplexe Weise in der Anlage ausbreiten können. Häufig führt eine einzige Ursache zu einer großflächigen Störung. Eine sich ausbreitende Störung kann sich auf wichtige Prozessgrößen wie Materialzufuhr, Produkt- und Recyclingströme, Temperaturen und die Produktzusammensetzung auswirken. Davon betroffen sein können einzelne Prozesseinheiten (z. B. eine Destillationskolonne), die gesamte Anlage und somit ein ganzer Produktionsprozess oder sogar ein ganzes Werk, wenn zum Beispiel Einrichtungen wie das Dampfsystem beteiligt sind. Liegen viele gestörte oder oszillierende Messungen vor, gestaltet sich die Suche nach der Ursache schnell wie die sprichwörtliche Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Die Motivation hinter der hier beschriebenen Produktentwicklung ist die automatische Erkennung anlagenweiter Störungen und die Bestimmung der wahrscheinlichen Ursachen, sodass Störungen durch Wartung, neue Regelungsstrategien oder einfaches Nachtuning von Reglern behandelt oder beseitigt werden können.

In den vergangenen Jahren wurden an Universitäten auf der Grundlage gehobener Signalverarbeitungsmethoden

sowie spektraler und nichtlinearer Zeitreihenanalysen mehrere innovative Algorithmen für die Diagnose industrieller Prozesse entwickelt. Um eine bessere Anwendung dieses Wissens auf das hier beschriebene Problem zu ermöglichen, rief ABB in Zusammenarbeit mit dem Centre for Process Systems Engineering (CPSE) des Imperial College/UCL London ein Projekt ins Leben.

Nach ersten Feldversuchen wurde eine umfangreiche Pilotanwendung mit einer ersten Implementierung eines Prototyps von ABB evaluiert. Dabei wurde die Technologie auf die Messdaten einer norwegischen Ölplattform angewandt und über 2.000 Messungen und hochauflösende Daten von über einem Monat analysiert.

Die umfassende Analyse und Erörterung der Daten wies auf bedeutende Störungen hin, die auch bei parallelen Untersuchungen der Anlage durch Prozess- und Prozessleitexperten von ABB und dem Kunden festgestellt wurden. Diese vielversprechenden Ergebnisse haben gezeigt, dass die intelligente Analyse von Prozessdaten in großem Maße zur Identifizierung, Lokalisierung und Diagnose von Problemen beitragen kann.

Der abschließende Schritt der Produktentwicklung bestand in der Integration der Technologie in das ABB-Produktportfolio. Da die Methode die Analyse der Anlagenperformance unterstützt,

wurde die Plant-wide Disturbance Analysis (PDA) Funktionalität als neues Modul für den Optimize^{IT} Loop Performance Manager (LPM), dem Produkt von ABB zur Optimierung von Regelkreisen, produktisiert. Das LPM-Release mit dem PDA-Modul ist bereits von ABB erhältlich.

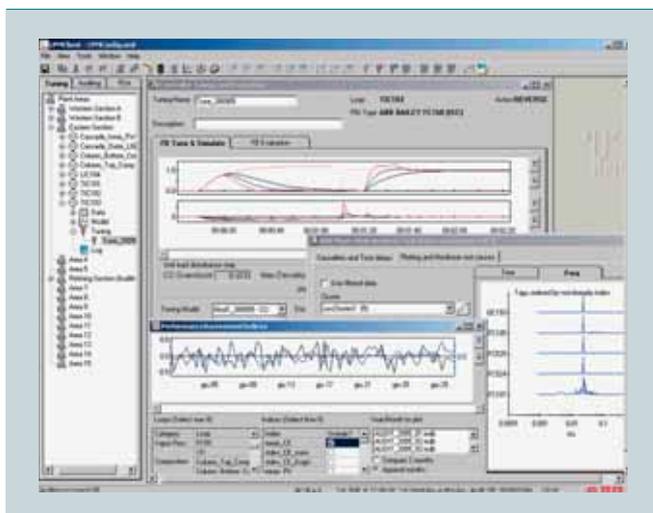
Nach einem kurzen Überblick über die Methode sollen im Folgenden zwei erfolgreiche und überraschend präzise Ergebnisse einer Evaluierung des Tools durch einen Endkunden dargestellt werden. Die Eastman Chemical Company in Kingsport, Tennessee (Titelbild) hat das integrierte Tool getestet – mit äußerst vielversprechenden Ergebnissen.

Optimize^{IT} Loop Performance Manager

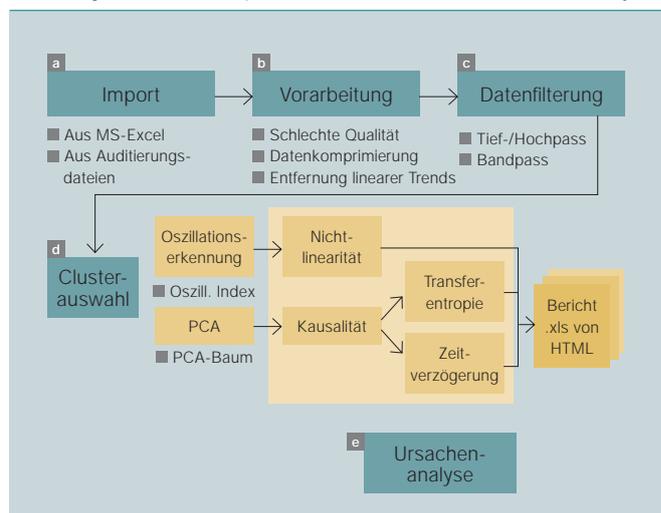
Der Loop Performance Manager (LPM) ist ein Wartungstool für Regelungsingenieure, Messtechniker und Wartungspersonal. Es wurde entwickelt, um eine Brücke zwischen den an Hochschulen entwickelten Technologien und den aktuellen Bedürfnissen der Industrie zu schlagen [4]. Die Aufgabe des LPM besteht darin, eine optimale Performance der Regelkreise und somit des gesamten Produktionsprozesses zu gewährleisten. Das Paket ist modular aufgebaut und umfasst zurzeit folgende drei Softwareanwendungen:

- Eine Regelkreis-Tuning-Komponente zur Optimierung der Regelkreis-Performance

1 Der LPM bietet Möglichkeiten zur Störungsanalyse, Ursachen-erkennung, Regelkreisüberwachung und zum Regelkreistuning.



2 Typischer Ablauf einer PDA-Analyse mit dem Loop Performance Manager. a bis e entsprechen den ersten fünf Schritten der Analyse.



Betriebliche Produktivität

- Eine Regelkreis-Auditing-Komponente zur Überwachung der Regelkreis-Performance
- Eine Komponente zur anlagenweiten Störungsanalyse (PDA). Diese Software analysiert gleichzeitige mehrere Regelkreise, erkennt gleichartige oder oszillierende Störungsmuster und bestimmt mögliche Ursachen. Eine typische Bildschirmdarstellung des LPM-Tools ist in **1** zu sehen.

Anlagenweite Störungsanalyse

Einen guten Überblick über die derzeitige Forschung gibt [6]. **2** zeigt den typischen Ablauf der anlagenweiten Störungsanalyse innerhalb des LPM-Tools [7].

Datenimport

Die Daten können offline aus Excel-Dateien oder aus Daten, die bei der Regelkreisüberwachung vom Tool erfasst wurden, eingelesen werden **2a**.

Datenvorverarbeitung und Filterung

Sollen verschiedene Aspekte der Daten – z. B. unterschiedliche Frequenzbereiche – untersucht werden, ist eine einfache Standardfunktionalität für die Datenvorverarbeitung nützlich. Problematische Daten wie ungültige Daten, „Ausreißer“ oder lineare Trends werden ebenfalls automatisch herausgefiltert. Die einfache Darstellung überlagert Daten in Form einer Trenddarstellung im „High-Density“-Format ist

für Prozessingenieure bereits sehr nützlich. Solche Darstellungsformen stehen in Historian-Systemen oder auf Bedienerbildschirmen normalerweise nicht zur Verfügung **2b**, **2c**.

Auswahl von Problem-Clustern

Der erste Hauptschritt der Analyse besteht in der Erkennung von Zeitreihen-Clustern mit ähnlichen oder periodisch oszillierenden Mustern. Die Erkennung der Oszillationen erfolgt mithilfe gehobener Signalverarbeitungsmethoden, wobei die Zeitreihen der Messungen in diesem Fall die Signale darstellen. Herkömmliche Methoden zur Erkennung von Oszillationen basieren auf der Beobachtung von Nulldurchgängen des mittelwertfreien Signals. Eine Schwäche dieses Verfahrens liegt in der Tatsache, dass durch Rauschen zusätzliche Nulldurchgänge verursacht werden, was die Genauigkeit des Ergebnisses beeinträchtigt. Der entscheidende Vorteil dieser Lösung ist, dass Oszillationen anhand von Nulldurchgängen der Autokovarianzfunktion des Signals erkannt werden [1]. Dies bedeutet eine erhebliche Verbesserung gegenüber bisherigen Methoden mit direkter Verwendung der Zeitreihen **2d**.

Die Anzahl der Datentags, die behandelt werden können, ist praktisch unbegrenzt. Bei bisherigen Untersuchungen konnten dank der effizienten Implementierung der unterlagerten Algo-

rithmen problemlos mehrere Hundert Tags analysiert werden.

In „High-Density“-Trenddarstellungen wie dem in **3** dargestellten Plot werden Zeitreihen angezeigt. Eine alternative Möglichkeit zur Darstellung solcher Informationen ist die Spektralanalyse. Diese Methode zeigt periodische Merkmale besser als Zeitreihen. Frequenzspektren bieten mehrere Vorteile, wenn es um die Erkennung von verteilten Störungen geht. Die Stärke des beschriebenen Tools liegt jedoch in der Kombination von zeit- und frequenzbasierten Ansätzen. Die zur Auswahl von Clustern verwendete Methode basiert auf der spektralen Hauptkomponentenanalyse [2]. Eine wirksame Art der Darstellung der spektralen Cluster ist eine hierarchische Baumstruktur (siehe [9]). Das spektrale Clustering funktioniert auch zuverlässig für Zeitreihen mit nichtperiodischen Merkmalen, solange sich ihre Spektren ähneln. Weitere intuitive Arten der Darstellung von Clustern sind ebenfalls im Tool enthalten.

Erkennung wahrscheinlicher Ursachen für Störungcluster

Eine bekanntermaßen häufige Ursache für Störungen in chemischen Prozessen ist ein fehlerhaftes Regelventil mit nichtlinearen Eigenschaften wie einer Totzone oder übermäßiger statischer Reibung (Haftreibung) [8]. Die Grenzzyklen, die durch reibungsbehaftete Ventile in einer Rückkopplungsschleife verursacht werden, können sich stark ausbreiten. Aus diesem Grund lag der anfängliche Schwerpunkt des Tools auf der Diagnose nichtlinearer Ursachen. Die für die Diagnose reibungsbehafteter Regelventile entwickelten Methoden können auch zur Lokalisierung von Fehlern verwendet werden, die auf nichtlineare Vorgänge im Prozess wie periodische Schaumbildung in Destillationskolonnen oder Gaseinschlüsse in Rohrleitungen zurückzuführen sind **2e**.

Nichtlineare Trends

Eine *nichtlineare Zeitreihe* [3] ist ein Signal, das sich nicht als Ausgang eines linearen, von weißem Rauschen getriebenen Systems beschreiben lässt. Es wird bestimmt durch Phasenkohärenz und – im Falle einer oszillierenden Zeitreihe – durch die Existenz von Oberschwingungen. Ein Beispiel für ein sehr nichtlineares Signal ist ein

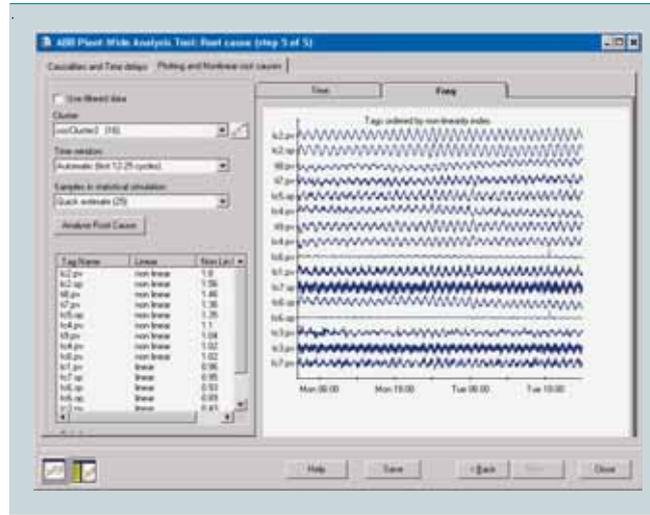


Signal mit einem rechteckigen Kurvenverlauf. Eine Prozessanlage fungiert typischerweise als Tiefpassfilter, d. h. Messungen in der Nähe einer nichtlinearen Quelle haben einen höheren „nichtlinearen“ Anteil als Messungen in einiger Entfernung. Das rechteckige Muster glättet sich also auf dem Weg durch die Anlage. Dieses Verhalten wird zur Identifizierung möglicher Problembereiche genutzt.

Eine Möglichkeit zur Erkennung von Nichtlinearitäten ist die visuelle Überprüfung der Zeitreihen und Spektren. Dieses „manuelle“ Verfahren ist jedoch recht unzuverlässig, kompliziert und fehleranfällig. Das neuartige Konzept des hier beschriebenen Ansatzes besteht in der Quantifizierung der Nichtlinearität, die an der Quelle der Nichtlinearität am stärksten ist. Auf diese Weise lässt sich die verursachende Oszillation von weiteren sich ausbreitenden Sekundärschwingungen unterscheiden. Periodische, aber nicht sinusförmig oszillierende Zeitreihen (wie sie für den Ausgang eines Regelkreises mit einem durch Nichtlinearität verursachten Grenzzyklus typisch sind) haben einen hohen „Bewertungsindex“. Grundlage für die Quantifizierung der Nichtlinearität ist ein Vergleich der Vorhersagbarkeit jeder Zeitreihe mit einer Reihe konstruierter Zeitreihen mit dem gleichen Leistungsspektrum aber willkürlichen Phasen. Eine nichtlineare Zeitreihe weist im Vergleich zu der konstruierten Zeitreihe eine hohe Vorhersagbarkeit auf, wohingegen der Unterschied bei linearen Zeitreihen geringer ausfällt [3].

Die Stärke der hier vorgestellten Methode wird durch nachfolgende Beispiele verdeutlicht. Klare Richtlinien für Betriebs- und/oder Wartungseingriffe können die durch Verfolgung der falschen Ursachen verlorene Zeit deutlich reduzieren. Darüber hinaus ermöglicht die Methode – wenn sie auf großflächige Probleme angewandt wird – die Identifikation von Problemen, die auf manuelle Weise niemals erkannt worden wären, da die Ursache weit von der Wirkung entfernt ist.

3 Oszillationsdaten eines Clusters mit einer Periodendauer von 68 Minuten, sortiert nach ihrer Nichtlinearität



Hauptmerkmale einer anlagenweiten Störungsanalyse

- Automatische Erkennung von einer oder mehreren (periodischen) Oszillationen
- Erkennung von nichtperiodischen Störungsmustern in der Anlage
- Lokalisierung der verschiedenen Oszillationen/Störungen in der Anlage und Bestimmung ihrer wahrscheinlichen Ursachen

Optimize^{IT} Loop Performance Manager

Der LPM kombiniert „Bottom-Up“-Überwachung (Regelkreis-Auditierung) und „Top-Down“-Störungsanalyse (PDA) mit einer erstklassigen Tuningfunktionalität und ist somit das umfassendste Tool für Prozessleitpersonal auf dem Markt.

Industrielle Beispiele

Die anlagenweite Störungsanalyse (PDA) führte die Prozessexperten geradewegs zur Ursache anlagenweiter Probleme, die weder aus den Daten noch mithilfe von Prozesswissen erkennbar waren.

Eine datenbasierte, computer-gestützte Methode wie diese ist zweifelsohne ein wertvolles Hilfswerkzeug. Sie wird zwar menschliches Wissen und Erfahrung niemals ersetzen können, doch sie ist in der Lage, den zur Erkennung und Quantifizierung von anlagenweiten Problemen und zur Lokalisierung der Ursachen erforderlichen Aufwand erheblich zu reduzieren. Zwei weitere Verfahren, die bei der Ursachenanalyse eine Rolle spielen, sind die Transferentropie und die Zeitverzögerung [5].

Transferentropie

Diese statistische Methode dient zur Evaluierung der Vorhersagbarkeit einer Variable auf der Basis einer anderen Variable mithilfe von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (probability density functions, PDF). Das zur Quantifizierung des Einflusses einer Variable X auf eine andere Variable Y verwendete Kausalitätsmaß leitet sich aus der Transferentropie $T(X/Y)$ ab. Letztere leitet sich wiederum von der Entropie ab, die ein Maß für die Unsicherheit einer willkürlichen Variable darstellt und einen gewichteten Logarithmus der PDF aufsummiert. Die Transferentropie errechnet sich aus der gemeinsamen PDF zweier Variablen. Dies liefert ein Maß für die Abhängigkeiten zwischen den Variablen. Das Kausalitätsmaß $t(X,Y)$ ergibt sich aus dem Vergleich des Einflusses von X auf Y mit dem Einfluss von Y auf X :

$$t(X,Y) = T(X/Y) - T(Y/X)$$

Ein hoher Wert für $t(X,Y)$ weist somit auf eine starke Kausalität zwischen X und Y hin.

Zeitverzögerungsanalyse

Die zweite zur Kausalitätsanalyse in das PDA-Modul integrierte Methode basiert auf der Kreuzkorrelationsfunktion (cross-correlation function, CCF). Diese Funktion bestimmt kausale Zusammenhänge zwischen Messungen aus den Zeitverzögerungen zwischen ihnen. Wenn sich eine Störung innerhalb einer Anlage ausbreitet, lässt sich die Störung häufig anhand von Pro-

Betriebliche Produktivität

zessgrößen beobachten, die eine Zeitverzögerung aufweisen. Die Bestimmung der genauen Zeitverzögerung liefert Hinweise auf die Ursache, denn es kann davon ausgegangen werden, dass die Größe, die sich näher an der Ursache befindet, die Störung früher aufweist als eine weiter entfernte Größe. Die CCF misst die Ähnlichkeit zwischen Signalen zu verschiedenen Zeitpunkten und kann somit zur Evaluierung der Zeitverzögerung zwischen Signalen verwendet werden. Die CCF zweier Signale hat ihren Höchstwert bei einem Zeitwert, der der Totzeit entspricht.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Methoden zur Kausalitätsanalyse ist, dass die Kausalitätsmatrix auf der

Basis der Transferentropie sensibler ist. Sie ist in der Lage, kausale Zusammenhänge in Situationen ohne messbare Zeitverzögerung zu erkennen, da sie andere Effekte wie die Glättung einer Zeitreihe erkennt, die bei der Ausbreitung einer Störung von ihrer Quelle entsteht.

Erstes industrielles Beispiel

Im Folgenden soll der in 4 dargestellte Prozessabschnitt betrachtet werden. Hierbei handelt es sich um einen Teil einer chemischen Anlage mit zwei Destillationskolonnen. Wie zu erkennen ist, schwingen die meisten Messungen mit einer Periodendauer von 68 Minuten (siehe auch 5). Prozessexperten lieferten mehrere Theorien zur Erklärung

der anhaltenden Oszillation und somit auch mehrere Vorschläge für die mögliche Ursache.

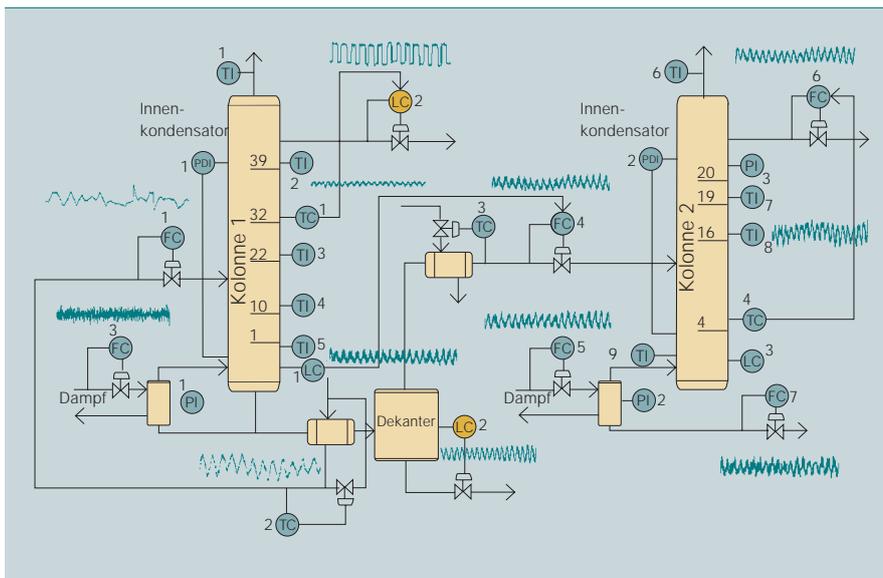
Eine PDA-Ursachenanalyse des Clusters mit einer Periodendauer von 68 Minuten ergab, dass möglicherweise ein nichtlineares Problem um den Niveauregelkreis LC2 die Oszillationen in allen anderen Tags des betreffenden Clusters verursachte. Diese Hypothese wurde experimentell bestätigt, indem die Regelung in LC2 4- bis 5-mal aggressiver eingestellt wurde als normal. Dadurch schwang LC2 mit einer sehr viel höheren Frequenz, und die nachfolgenden Schwingungen in allen anderen Größen blieben aus. Dies überzeugte die Experten, dass die Ursache innerhalb des Regelkreises LC2 zu finden war und höchstwahrscheinlich auf einem Problem im Stellglied basierte. Diese Hypothese wurde durch eine LPM-Audiotierung der Daten von LC2 bestätigt. Eine wahrscheinliche Erklärung für die anlagenweite Störung ist, dass sich die Oszillation durch den Anlagenabschnitt ausbreitet, wenn der Dekanter mit Flüssigkeit gefüllt ist. Dadurch kommt es zu einer mehr oder weniger starken Strömung durch das LC2-Ventil, wodurch die Niveaumessung beeinflusst wird. Daraufhin passt LC1 die Zufuhr FC4 (über den Master-Slave-Feedback) zur Kolonne 2 an. Die daraus resultierenden Schwingungen in FC4 wirken sich auf mehrere Variablen der Kolonne 2, einschließlich des Destillatstroms FC6, aus. In dem betreffenden Datensatz gab es noch eine zweite, etwas schnellere Schwingung, deren Cluster fünf weitere Messungen umfasste. Eine Ursachenanalyse lieferte schnell Anzeichen für eine verstärkte Haftreibung in FC2, was sich ebenfalls als richtig herausstellte.

Auf der Basis dieser Ergebnisse ist das Wartungspersonal in der Lage, durch gezielte Behandlung der beiden ventilbezogenen Probleme in LC2 und FC2 die Performance des gesamten Anlagenabschnitts zu verbessern.

Zweites industrielles Beispiel

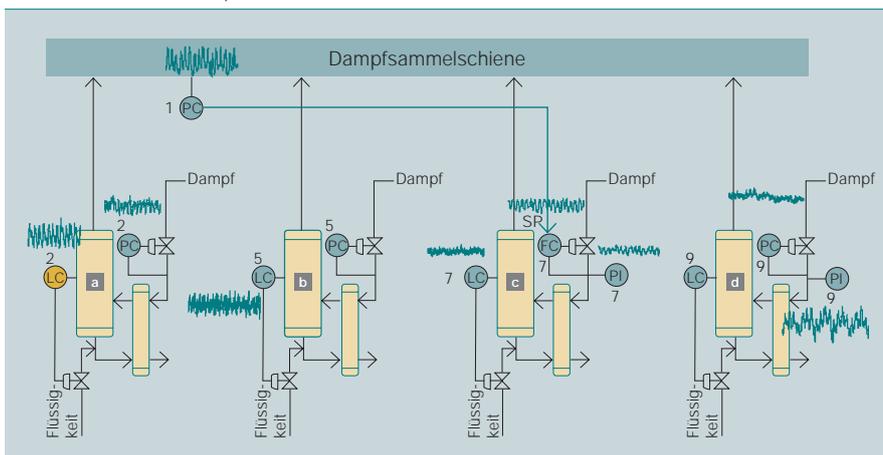
Im zweiten Beispiel geht es um Störungen in einem Verdampfersystem 5. Wie in der Darstellung zu sehen ist, oszilliert der Druck in der Dampfsammelschiene mit einer Periodendauer von 220 Sekunden. Diese Frequenz

4 Prozessschema zu Beispiel 1

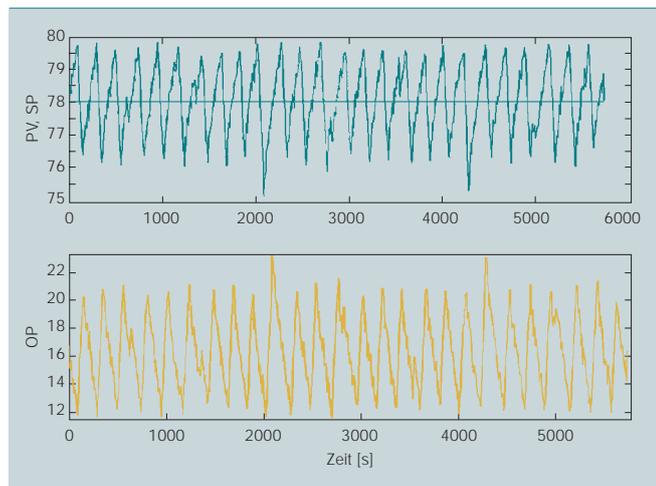


5 Oszillierende Daten in einem Verdampfersystem. Die festgestellte Ursache ist rot markiert.

a bis d sind Verdampferkolonnen.



6 Daten des Niveauregelkreises LC2 im Verdampfer 5a. Oben: Sollwert und Prozessgröße (0-100 %), unten: Stellgröße (Ventilöffnung, 0-100 %). Die Daten weisen auf verstärkte Haftreibung hin.



lässt sich deutlich in allen vier Verdampfern (5a, 5b, 5c und 5d) feststellen, die zur Dampf- und Druckerzeugung verwendet werden. Verdampfer 5c dient zur Druckregelung in der Sammel-schiene. Eine erste Vermutung des Anlagenpersonals hinsichtlich der Ursache ging in Richtung des Verdampfers 5c. Bei der Untersuchung des Problems mithilfe der PDA wurde jedoch schnell ein Cluster mit allen betreffenden Tags gefunden und mithilfe der Nichtlinearitätsanalyse der Niveauregelkreis LC2 in Verdampfer 5a als Ursache identifiziert 6.

Experimente von Prozessleitexperten bestätigten schließlich, dass dies tatsächlich die Ursache war – entgegen der intuitiven Vermutung. Um zu zeigen, wie der LPM zur weiteren Bestätigung verwendet werden kann, wurde dieser Regelkreis einer Auditierung mit LPM Auditing unterzogen. Die daraus

resultierende Diagnose ist in der Infobox aufgeführt.

Fazit

Die Analyse anlagenweiter Störungen hat sich von einem akademischen Forschungsthema zu einer erfolgreichen industriellen Anwendung in Form eines kommerziell erhältlichen Produkts entwickelt. Die industriellen Anwendungsbeispiele zeigen, dass innovative, moderne Technologie wertvolle Hilfestellung für Prozessexperten bei der Suche nach den Ursachen wichtiger Anlagenprobleme bieten kann. Da diese Ursachen für das Anlagenpersonal nicht immer offensichtlich sind, können fortschrittliche Tools wie dieses dabei helfen, die zur Lokalisierung der Ursachen benötigte Zeit erheblich zu verkürzen.

Die einzigartige Kombination von „Top-Down“- und „Bottom-Up“-Ansätzen verbindet die wichtigsten Werkzeuge

Infobox LPM Auditing-Ausgabe

```
- LC2: Regelkreis-Beurteilung:
-----
Die Regelkreisperformance ist nicht akzeptabel
- LC2: Detaillierte Informationen:
-----
Der Regelkreis oszilliert.
- Der Regelkreis oszilliert.
- Das Regelventil weist Haftreibung auf, die zu
Oszillationen führt. Zur Überprüfung Regler auf
manuell schalten.
Die Oszillation macht einen bedeutenden Teil der ges-
amten Variation aus. Die Beseitigung der Oszillation
sollte zu einer deutlichen Verbesserung führen.
Die Amplitude der Oszillation ist recht regelmäßig.
Dies ist untypisch für ein reines (lineares) Tuning-
problem.
- Das Stellglied erzeugt Schwankungen im Ausgang.
Das Regelventil weist zunehmende statische Reibung
(Haftreibung) auf. Ein schlecht funktionierendes
Ventil erhöht die Variabilität des Regelkreises.
Regelkreis auf manuell schalten oder Ventil warten.
```

für Prozessleittechniker und machen die ABB-Lösung zu einem äußerst leistungsfähigen Tool. Ferner hat der Einsatz der PDA-Methode in neuen Anwendungsbereichen wie dem gehobenen Alarmmanagement und der Überwachung und Diagnose von elektrischen Netzen bereits zu vielversprechenden Ergebnissen geführt.

Alexander Horch
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland
alexander.horch@de.abb.com

John W. Cox
Eastman Chemicals Company
Kingsport, USA

Nunzio Bonavita
ABB PS&S S.P.A.
Genua, Italien
nunzio.bonavita@it.abb.com

Literaturhinweise

- [1] Thornhill, N. F., Huang, B., Zhang, H. (2003): „Detection of multiple oscillations in control loops“, Journal of Process Control Nr. 13, S. 91–100
- [2] Thornhill, N. F., Shah, S. L., Huang, B., Vishnubhotla, A. (2002): „Spectral principal component analysis of dynamic process data“, Control Engineering Practice Nr. 10, S. 833–846
- [3] Kantz, H., Schreiber, T. (1997): „Nonlinear time series analysis“, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- [4] Bonavita, N., Bovero, J.C., Martini, R. (2004): „Control loops: performance and diagnostics“, 48. ANIPLA Konferenz, Mailand, Italien, September 2004
- [5] Bauer, M., Cox, J.W., Caveness, M.H., Downs, J.J., Thornhill, N.F. (2007): „Finding the direction of disturbance propagation in a chemical process using transfer entropy“, IEEE Transactions on Control Systems Technology 17(1), S. 12–21
- [6] Thornhill, N. F., Horch, A. (2006): „Advances and new directions in plant-wide controller performance assessment“, Proc. Of ADCHEM 2006, Gramado, Brasilien, 2.–5. April 2006
- [7] Bonavita, N., Caserza-Bovero, J., De Lorenzo, L., Martini, R. (2006): „Control Performance Monitoring: a Data-driven Approach“, Proc. of Monitoraggio delle Prestazioni dei Processi e dei Sistemi di Controllo, Mailand 19. September 2006
- [8] Horch, A. (2006): „Benchmarking control loops with oscillations and stiction“ in: Process Control Performance Assessment (Ordys, A., Uduehi, D., Johnson, M.A., Eds), Springer, Guildford, UK
- [9] Thornhill, N. F., Melbø, H., Wiik, J. (2006): „Multi-dimensional visualization and clustering of historical process data“, Industrial Engineering and Chemistry Research Nr. 45, S. 5971–5985



Designmethoden

Der Mensch als Teil des Systems
Charlotte Skourup, John Pretlove

Wie viele Menschen würden es wagen, mit einem Flugzeug ohne Piloten zu fliegen, auch wenn es mittlerweile technisch möglich ist, ein Flugzeug vom Boden aus zu steuern? Können wir der Technik genügend trauen, um Kernkraftwerke oder komplexe industrielle Prozesse automatisch laufen zu lassen, ohne dass menschliche Bediener anwesend sein müssen? Ohne Zweifel machen Menschen Fehler, und menschliches Versagen wird häufig als Ursache für Unfälle wie Reaktorstörfälle und Flugzeugabstürze genannt. Doch in vielen Fällen stehen den Bedienern einfach nicht die richtigen Informationen zur Verfügung, um eine kritische Situation zu bewältigen.

Statt den Menschen aus dem Prozess zu entfernen, geht der Trend heutzutage dahin, seine Fähigkeiten und Stärken zu nutzen und verstärkt in das Gesamtkonzept eines Systems zu integrieren. Für Systemdesigner bedeutet dies, dass sie zwei sehr unterschiedliche, komplexe Modelle miteinander harmonisieren müssen – das eines technischen Prozessleitsystems und des menschlichen Verhaltens – um ein gut funktionierendes Automatisierungssystem zu konzipieren, das sich in kritischen und unvorhergesehenen Situationen bewährt. Dieser Artikel zeigt, wie dies erreicht werden kann.

Das Beispiel des Flugzeugs ohne Piloten zeigt, dass es dem Menschen generell nicht behagt, die Gesamtverantwortung für einen komplexen Prozess aus den Händen zu geben. Dies ist auch in der Öl- und Gasindustrie der Fall, wo der Betrieb von Offshore-Anlagen zunehmend an Land verlagert wird, um das Risiko für das Personal und die Betriebskosten zu senken. Dennoch müssen weiterhin einige Teams offshore arbeiten – nicht nur aus Sicherheitsgründen, sondern auch um Inspektions- und Wartungsarbeiten durchzuführen. Verständlicherweise gibt es erhebliche Bedenken, die Verantwortung und Kontrolle mehrere Hundert Kilometer vom eigentlichen Prozess zu entfernen. Da der Bediener ein wichtiges Element in jedem Automatisierungssystem darstellt – insbesondere wenn es zu kritischen und unvorhergesehenen Ereignissen kommt – sollte der menschliche Benutzer bei der Konzeption jedes neuen Systems verstärkt berücksichtigt werden. Ein schlecht konzipiertes System kann zu verheerenden Folgen führen, wie der Unfall im Kernkraftwerk von Three Mile Island zeigt Infobox.

Der Unfall führte zu einer neuen Denkweise hinsichtlich des Designs solcher Systeme. Neben einer ganzen Reihe technischer Aspekte musste auch die Rolle des Bedieners in bestimmten industriellen Prozessen überdacht werden. Nach einer genauen Untersuchung des Vorfalls wurden weitreichende Veränderungen am Notfallmanagement, an der Schulung der Bediener und der Berücksichtigung des Faktors Mensch im Anlagenbetrieb (Human Factor Engineering) vorgenommen. Viele dieser Änderungen fanden später den Weg in andere Industriezweige.

Eine Vielzahl von Institutionen befasst sich mit der Erforschung der Rolle des Menschen in industriellen Prozessen. Das Institut für Energietechnik (IFE) in Norwegen konzentriert sich zum Beispiel auf kognitive Prozesse, Design und Prototypenstellung sowie die Aufgabenzuordnung zwischen Mensch und Maschine¹⁾. Ähnliche Forschungen in anderen kritischen Industrien wie der Öl- und Gasindustrie folgen diesem Trend. In Prozessindustrien mit geringeren Sicherheitsanforderungen wie der Zellstoff- und Papierindustrie, der Metallverhüttung und der pharmazeutischen

Industrie setzten sich neue Methoden, Paradigmen und Denkweisen in Bezug auf Sicherheitsbelange und den menschlichen Benutzer hingegen nur langsam durch. Dies ändert sich nun, da neue Designansätze mit Unterstützung kognitiver Elemente langsam den Markt erobern.

Wissen, wie der Mensch „tickt“ Modelle der geistigen Prozesse, des menschlichen Verhaltens und ein auf den Benutzer ausgerichtetes Design rücken den Bediener als integralen Bestandteil eines fortschrittlichen Automatisierungssystems verstärkt ins Zentrum des Interesses. Es gibt viele solcher Modelle, die sich jeweils mit bestimmten Aspekten der kognitiven Prozesse im Gehirn des Menschen auseinandersetzen. Zwei dieser Modelle sollen im Folgenden näher betrachtet werden.

Das Modell von Rasmussen [1] hilft Systemdesignern dabei, die Informationsanforderungen für ein System mit Aspekten der menschlichen Kognition zu verknüpfen. Dieses auch als Dreiebenen-Modell bezeichnete Modell beschreibt drei kognitive Verhaltens Ebenen: fertigkeitbasiert, regelbasiert und wissensbasiert 1. Fertigkeitbasierte und regelbasierte Verhaltensmuster bestimmen Situationen und Aufgaben,

die dem Bediener vertraut sind. Genauer gesagt ist auf der fertigkeitbasierten Ebene zur Durchführung einer Handlung auf der Basis sensorischer Eingaben nahezu keine bewusste menschliche Kontrolle oder kognitive Leistung erforderlich. Das menschliche Handeln auf dieser Ebene ist vielmehr automatisiert und besteht aus hochgradig integrierten, durch Training angeeigneten Verhaltensmustern. Die regelbasierte Ebene greift, wenn dem Bediener eine Situation oder ein Ereignis bekannt ist und er zur Formulierung einer Vorgehensweise auf angeeignete Regeln und Verfahren zurückgreift. Dies ist zum Beispiel bei der Durchführung bestimmter Wartungsprozeduren der Fall. Das wissensbasierte Verhalten ist der anspruchsvollste kognitive Prozess. Er tritt auf, wenn der Mensch mit einem gänzlich unbekanntem Ereignis oder einer unerwarteten Situation konfrontiert wird.

Im Gegensatz zu vielen anderen Modellen von kognitiven Prozessen basiert das Modell von Rasmussen auf dem Verhalten von industriellem Prozesspersonal und der Art und Weise, wie es Informationen verwaltet und Aufgaben erledigt und ist daher äußerst relevant für das Design von komplexen industriellen Automatisierungssystemen. In der

Infobox Der Unfall von Three Mile Island – ein Überblick

Das Kernkraftwerk von Three Mile Island liegt auf einer 3,29 km² großen Insel im Susquehanna River in Dauphin County, Pennsylvania. Im Jahr 1979 führte eine Folge von Ereignissen zur partiellen Kernschmelze des Reaktorblocks, als sich durch einen anfänglichen Fehler im Kühlsystem ein Sicherheitsventil öffnete und fälschlicherweise nicht wieder geschlossen wurde. Da dies den Bedienern nicht angezeigt wurde, entwich immer mehr Kühlwasser aus dem Reaktor, der schließlich überhitzte. Der Kühlwasserstand im Reaktor wurde nicht direkt angezeigt, sondern anhand des Kühlmittelstands im Druckhalter ermittelt. Da dieser hoch war, ging das Personal davon aus, dass der Kern entsprechend bedeckt war.

Selbst als in der Leitwarte mehrere Alarme ertönten und Warnleuchten blinkten, verkannten die Bediener den Ernst der Situation.

Tatsächlich wurde die Situation durch die Entscheidung, den Kühlmittelzufluss zum Reaktor zu verringern, nur noch weiter verschlimmert. Die nachfolgende Untersuchung ergab, dass den Bedienern nicht alle Informationen zur Verfügung standen, die zur richtigen Erfassung der Situation erforderlich waren. Dies führte zu einem falschen „Bild“ bzw. geistigen Modell der Situation, auf dessen Grundlage alle weiteren Entscheidungen getroffen wurden. Auch wenn die erwarteten Resultate bestimmter Handlungen nicht dem geistigen Modell entsprachen, zweifelten die Bediener eher an den Alarmen als an ihrer eigenen Einschätzung der Situation.

Weitere Einzelheiten zum Unfallhergang sind in englischer Sprache unter www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html aufgeführt. (Stand November 2006)

Kapitalproduktivität

Praxis kann das Modell verwendet werden, um zu bestimmen, auf welcher Verhaltensstufe ein Bediener bestimmte Aufgaben ausführt und welche Informationen dabei zur Verfügung stehen sollten. Außerdem kann es zur Aufteilung von Aufgaben zwischen Mensch und Leitsystem herangezogen werden.

Situationsbewusstsein – Voraussetzungen für die Entscheidungsfindung
Das Modell von *Endsley* zum Situationsbewusstsein [2] beschreibt, wie Menschen, die sich mit komplexen und dynamischen Systemen wie industriellen Prozessen befassen, aktiv nach bestimmten Informationen suchen, diese interpretieren und Entscheidungen auf der Grundlage dieser Informationen treffen. Das Modell von Endsley umfasst drei Stufen [2]:

- Wahrnehmung der Elemente in der Umgebung innerhalb einer bestimmten Zeit und eines bestimmten Raums
- Verstehen der Bedeutung dieser Elemente
- Projektion des Zustands der Elemente auf die nahe Zukunft

Die erste Stufe beschreibt, wie der Mensch einzelne Informationsteile innerhalb einer Umgebung wahrnimmt, die entweder von der ursprünglichen Situation abweicht oder einen Zustand darstellt, der zum „Bild“ der aktuellen Situation beiträgt. Auf der zweiten Stufe gewinnt die Person ein tieferes Verständnis der aktuellen Situation, während sie noch aktiv nach zusätzlichen und ergänzenden Informationen sucht.

Auf der dritten Stufe verwendet der menschliche Bediener sein geistiges Modell des industriellen Prozesses, um mögliche Handlungen auf der Basis der erfassten Informationen sowie seiner Interpretation und seines Verständnisses spezieller Informationen zu simulieren. Ist eine Lösung für das Problem gefunden, erfolgt die Entscheidung hinsichtlich notwendiger Maßnahmen auf natürliche Weise.

Das Modell von Endsley hilft Systemdesignern, zu verstehen, wie die Aufmerksamkeit des Bedieners durch Automatisierungs- und Entscheidungsunterstützungssysteme auf bestimmte Informationen gelenkt werden kann, die für das Verständnis einer bestimmten Situation erforderlich sind. Es lässt sich leicht in der Praxis anwenden und ist besonders wirksam, wo lange Zeitspannen normaler oder geringer Aktivität durch das plötzliche Auftreten eines kritischen Ereignisses unterbrochen werden, das die volle Aufmerksamkeit des Bedieners verlangt. Allerdings sagt es nichts über das geistige „Bild“ des Bedieners oder die Entscheidungen aus, die von ihm getroffen werden.

Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine
Die Herausforderung eines guten Systemdesigns besteht darin, die Stärken des Menschen und seiner „Maschine“ (dem Leitsystem) so zu nutzen, dass sie gemeinsam etwas erreichen, das keiner von ihnen allein erreichen könnte. Während sich beim technologieorientierten Design alles um die Technik

dreht, geht es beim benutzerorientierten Design darum, eine Technologie zu entwickeln, die den Benutzer im Kontext seiner jeweiligen Aufgaben unterstützt.

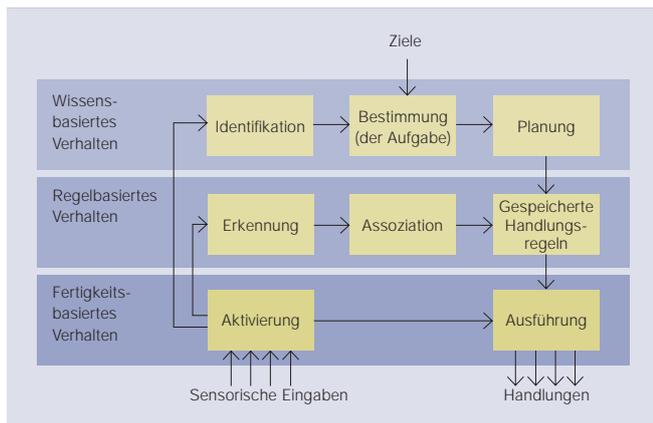
Die Integration des Bedieners in ein gut funktionierendes Automatisierungssystem ist die Aufgabe der Systemdesigner. Auch wenn der Systemdesignprozess – der eine Reihe von Phasen, Analysen und Methoden umfasst – je nach Branche unterschiedlich ausfällt, müssen die Systemdesigner zur Entwicklung einer effektiven Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) zunächst alle relevanten Informationen über den *Menschen im System* sammeln. Die MMS fungiert quasi als Kommunikationskanal zwischen dem Bediener und dem Leitsystem.

Anforderungsspezifikation

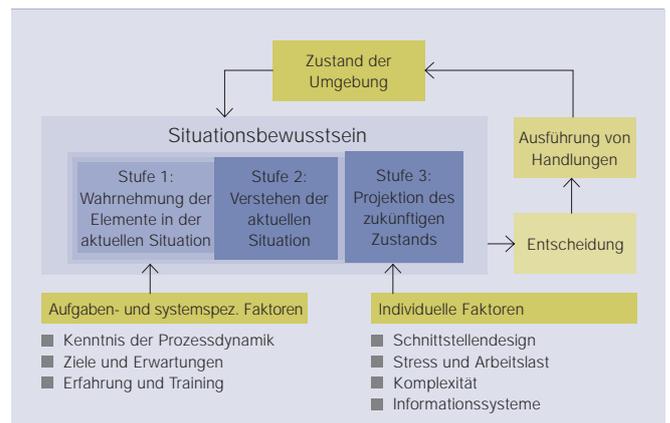
Fast alle Systemdesigner führen eine Anforderungsanalyse durch, um die Gesamtziele des Systems in konkrete Spezifikationen umzusetzen. Nur wenige konzentrieren sich dabei jedoch auf den menschlichen Benutzer als Teil des Gesamtsystems. Vollständige Designvorgaben sollten den industriellen Prozess selbst, die Benutzer, die Aufgaben, die Umgebung und die betrieblichen Anforderungen berücksichtigen. Kenntnisse über den Bediener und darüber, wie er seine Aufgaben ausführt, sollten in das Design des Automatisierungssystems einfließen.

Im Rahmen einer Benutzeranalyse werden die verschiedenen Benutzer

1 Das Drei-Ebenen-Modell von Rasmussen hilft Designern dabei, Informationsanforderungen für ein System mit Aspekten der menschlichen Kognition zu kombinieren.



2 Das Modell von Endsley beschreibt, wie Menschen in komplexen und dynamischen Systemen nach Informationen suchen, diese interpretieren und Entscheidungen treffen.



des Automatisierungssystems ermittelt und anhand bibliografischer Informationen, Kompetenz, Erfahrungen und Vorlieben näher charakterisiert und gruppiert. Diese Art der Analyse hilft dem Systemdesigner, die Benutzer des Systems kennenzulernen und die Durchführung ihrer Aufgaben zu verstehen. Externe Faktoren wie die Gestaltung der Arbeitsplätze, Lichtverhältnisse und die Umgebungsbedingungen (z. B. Explosionsgefahren, Staub, Feuchtigkeit, Lärm usw.) werden zusätzlich in Umgebungsanforderungen formuliert.

Funktionale Analyse und Aufgabenzuordnung

Bei der funktionalen Analyse werden die Funktionen des gesamten Automatisierungssystems (Mensch und Leitsystem) bestimmt. Das Hauptziel einer funktionalen Analyse ist die Aufteilung der Arbeit (Aufgabenzuordnung) zwischen dem Menschen und dem Leitsystem. Gängige Verfahren zur Erfassung von funktionalen Anforderungen sind Anwendungsfälle (Use Cases) und Szenarios.

In vielen Situationen ist die Aufgabenzuordnung eher unkompliziert. So ist der Computer zum Beispiel unschlagbar, wenn es darum geht, große Datenmengen zu verarbeiten, ständig wiederholende Aufgaben auszuführen und Prozeduren zu folgen. Außerdem ist die Visualisierung und ergonomische Darstellung komplexer Informationen in Form von Übersichten und reduzierbaren Objekten wesentlich einfacher. Die Stärken des Menschen hingegen liegen im Schlussfolgern, Beurteilen, Lösen von Problem und Treffen von Entscheidungen. Doch die Realität ist nicht nur schwarz-weiß, und vielfach ist für eine optimale Erledigung einer Aufgabe eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Computersystem und dem menschlichen Bediener erforderlich.

Ein weiterer bedeutender Aspekt neben der Aufgabenzuordnung ist der Automatisierungsgrad. So ist die Komplexität und der Grad der Automatisierung innerhalb einer Branche und manchmal auch innerhalb eines Prozesses unterschiedlich. Auch die Art und Weise, wie die Bediener auf Probleme und Situationen reagieren, hängt von ihren individuellen Erfahrungen und Fähigkeiten



ab. Dennoch ist eine bewusste Entscheidung über den Grad der Automatisierung und die Frage, wann der Mensch mit dem System interagieren oder sich darüber hinwegsetzen sollte, erforderlich. Diese wichtige Richtlinie macht die Arbeitsbelastung des Bedieners für den Systemdesigner „sichtbar“.

Aufgabenanalyse

Das Hauptziel einer Aufgabenanalyse besteht darin, die Aufgaben, Ziele und Erwartungen des Benutzers an ein neues System zu verstehen. Daher ist es wichtig, zu klären, welche Aufgaben ein Bediener zur Erledigung eines Auftrags ausführen muss. Dabei können die Reihenfolge, in der die Aufgaben ausgeführt werden, und auch die Aufgaben selbst von Bediener zu Bediener unterschiedlich sein, solange die Sicherheit nicht beeinträchtigt wird. Bei einer grundlegenden Aufgabenanalyse werden zum Beispiel eine Reihe von Zielen und die zur Erreichung notwendigen Aufgaben bestimmt.

Es gibt eine Reihe verschiedener Methoden zur Aufgabenanalyse. Zwei Varianten sind die sogenannte *hierarchische Aufgabenanalyse* und die *kognitive Aufgabenanalyse*. Bei der hierarchischen Aufgabenanalyse wird ein Auftrag (Job) auf der Basis einer Hierarchie in einzelne Aufgaben unterteilt, während bei der kognitiven Aufgabenanalyse die zur Ausführung einer Aufgabe erforderlichen kognitiven Prozesse im Mittelpunkt stehen. Eine Feldinspektion ist eine relativ einfach zu definierende Aufgabe, während eine unerwartete, für den Bediener neue Situation eine Definition auf höherer Ebene erfordert. Gemäß des Drei-Ebenen-Modells von Rasmussen erfolgt die Durchführung dieser Aufgabe auf der wissensbasierten Verhaltensebene, d. h. es können Aufgaben wie Problemlösung und Entscheidungsfindung gefordert sein. Mit diesem Wissen können

Systemdesigner (a) bestimmen, welche Informationen dem Bediener in welcher Form dargestellt werden sollen, und (b) die Entscheidungsunterstützung und Aufgabenzuordnung zwischen dem Leitsystem und dem Bediener festlegen.

Fazit

In nahezu allen Industrien geht der Trend in Richtung sicherer Systeme (trotz zunehmender Komplexität) und einem höheren Automatisierungsgrad. Während der Systemdesignprozess in der Vergangenheit eher technologieorientiert war, nimmt nun das Verständnis für die Bedeutung des *Menschen im System* zu. Mehr als je zuvor wird der menschliche Bediener als unersetzbarer Teil des Automatisierungssystems anerkannt. Dies gilt besonders bei kritischen und unerwarteten Ereignissen. Doch Menschen sind verschieden und reagieren stets etwas unterschiedlich auf kritische Situationen.

Eine Reihe von Methoden unterstützt ein erweitertes Verständnis des *Menschen im System* und hilft den Designern dabei, den typischen Bediener bzw. Bedienergruppen zu charakterisieren und zu definieren. Aufgabe der Systemdesigner ist es, die Ergebnisse der verschiedenen Modelle und Methoden so miteinander zu kombinieren, dass ein gutes und sichereres Systemdesign gewährleistet ist.

Charlotte Skourup

John Pretlove

ABB Strategic R&D Group for Oil & Gas
Oslo, Norwegen

charlotte.skourup@no.abb.com

john.pretlove@no.abb.com

Fußnote

¹⁾ Anfänglich für Kernkraftwerke

Literaturhinweise

- [1] J. Rasmussen: „Skill, Rules, and Knowledge: Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models“, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 13 (1983) 3, S. 257–266
- [2] M. R. Endsley: „Towards a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems“, Human Factors 37 (1995) 1, S. 32–64

Weiterführende Literatur

T. B. Sheridan: „Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control“, The MIT Press, Massachusetts, 1992



Fallstudie

Prototyperstellung für Statoil Tjeldbergodden
Trond Tysseland, Torgeir Enkerud, Kristoffer Husøy

Eine Reihe von Modellen und Methoden ermöglicht ein besseres Verständnis der Rolle des *Menschen im System* durch die frühzeitige Einbindung der Benutzer in den Designprozess. Dieses Prinzip wurde nun in Form von Lo-Fi-Prototyping unter Beteiligung der Benutzer in einem Projekt zur Modernisierung der Leitwarte des Statoil-Werks Tjeldbergodden erfolgreich angewandt.

Der Statoil-Industriekomplex Tjeldbergodden **1** liegt an der Küste Mittelnorwegens und umfasst eine Methanolanlage, eine Gasempfangsstation, eine Luftzerlegungsanlage und eine Gasverflüssigungsanlage [1]. Im Zuge einer umfassenden Modernisierung der Anlage sollte auch die bestehende Bedienoberfläche des Infi90 Leitsystems auf das System 800xA von ABB aufgerüstet werden. Das neue

System musste ca. 240 Prozessgrafiken umfassen und 20.000 Signale verarbeiten können. Die in dieser Fallstudie verwendeten Modelle und Methoden sind in der **Infobox 1** aufgeführt und werden in [2] genauer behandelt. Schwerpunkt dieser Studie ist die Anwendung von Lo-Fi-Prototyping **Infobox 2** bei der Modernisierung der Leitwarte. Durch die Verwendung dieses einfachen und effektiven Verfahrens konnten mehrere

Designiterationen mit minimalem Aufwand realisiert werden.

Informationsnavigation

Ein Hauptproblem von Wissensarbeitern und Leitwartenpersonal in vielen Industrien ist das schnelle und effiziente Auffinden der richtigen Informationen. Die Bedienoberfläche in einer Leitwarte umfasst häufig zwischen 20 und mehreren Tausend Prozessgrafiken, und die Anlagenfahrer müssen in der Lage sein, schnell die richtige Darstellung zu finden und aufzurufen.

Vor der Modernisierung bei Statoil Tjeldbergodden waren die Anlagenfahrer gezwungen, über Verknüpfungen in den Prozessgrafiken zu navigieren. Diese waren über die Prozessschaulbilder verteilt und folgten häufig dem Prozessfluss **2**. Um den schnellsten Weg zu einer gewünschten Darstellung zu finden, mussten die Anlagenfahrer den Aufbau der Anlage sehr gut kennen. Eine neue Bedienoberfläche war also dringend erforderlich.

Navigation per Thumbnails

Die Inspiration für den ersten Designvorschlag lieferte die Navigation in Microsoft PowerPoint, Windows Ex-

plorer und einigen Fotoeditoren, die das Thumbnail-Konzept verwenden. Ein Thumbnail ist eine verkleinerte Kopie bzw. Abbildung eines Objekts, die als direkte Verknüpfung zum betreffenden Objekt fungiert. Thumbnails bieten eine intuitive Möglichkeit zur Navigation, da der Benutzer den Inhalt eines gesuchten Objekts visuell erkennen kann, ohne sich den Namen des Objekts merken zu müssen. Dies gilt besonders, wenn viele Objekte vorliegen. Für das Statoil-System hatten die Designer die Idee, vereinfachte Darstellungen der Grafiken in Form von Thumbnails in einer Leiste auf einer Seite des Bildschirms anzuordnen **3**. Als zusätzlicher Mehrwert sollten dynamische Informationen – zum Beispiel die Anzahl der aktiven Alarme mit höchster Priorität oder andere zusammenfassende Statusanzeigen – über die Thumbnails gelegt werden.

Das Demonstrationsmodell wurde in einem Grafikeditor entwickelt und in Microsoft PowerPoint-Folien eingefügt. Dazu wurden mehrere Bilder mit unterschiedlichen Prozessgrafiken erstellt. Die entsprechenden Thumbnails zeigen die gewählte Prozessgrafik sowie einige Alarminformationen. So konnten die Designer das Konzept fast wie einen funktionierenden Prototypen vorstellen: Klickt man auf einen Thumbnail, wird die nächste Folie bzw. die „untergeordnete Ebene“ mit einer neuen Prozessgrafik und dem entsprechenden Thumbnail angezeigt.

Die Benutzertests wurden im Rahmen eines informellen Workshops durchgeführt, an dem Anlagenfahrer, Mitglieder der Betriebsleitung, des ABB Projektteams und Entwickler teilnahmen. Das Konzept eines gesonderten Navigationsbereichs fand die Zustimmung der Benutzer, doch hinsichtlich der Thumbnails gab es noch einige Kritikpunkte:

- Es standen nicht genügend Navigationsverknüpfungen auf einen Blick zur Verfügung.
- Der „visuelle Erkennungseffekt“ war nicht allzu hoch, da viele der Prozessgrafiken ähnlich aussehend.
- Die Detaillierung der Thumbnails wurde als zu hoch und die Bedienoberfläche als überfrachtet empfunden.

Infobox 1 Modelle und Methoden für das Design von Automatisierungssystemen

Es gibt eine Vielzahl von Modellen zur menschlichen Informationswahrnehmung und -verarbeitung. Jedes dieser Modelle stellt bestimmte Aspekte des kognitiven Prozesses dar und hilft Systemdesignern dabei, den menschlichen Bediener in seiner jeweiligen Rolle besser zu verstehen.

Das **Rasmussen-Modell des menschlichen Verhaltens** (das sog. Drei-Ebenen-Modell) hilft Designern dabei, die Informationsanforderungen für ein System mit kognitiven Aspekten zu verknüpfen. Es wird zum Beispiel verwendet, um zu entscheiden a) auf welcher kognitiven Verhaltensebene (fertigkeitbasiert, regelbasiert oder wissensbasiert) der Bediener bestimmte Aufgaben ausführt und b) welche Informationen dem Bediener zur Verfügung gestellt werden sollten. Außerdem kann das Modell verwendet werden, um einen Überblick über die Verteilung bestimmter Aufgaben zwischen Mensch und Leitsystem zu geben.

Das **Modell von Endsley zum Situationsbewusstsein** beschreibt, wie Menschen Informationen in komplexen und dynamischen

Systemen suchen, interpretieren und auf der Grundlage dieser Informationen Entscheidungen treffen.

Der Systemdesignprozess beinhaltet eine Reihe von Methoden zur Gewinnung wichtiger Informationen über den *Menschen im System*, die sich auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) auswirken:

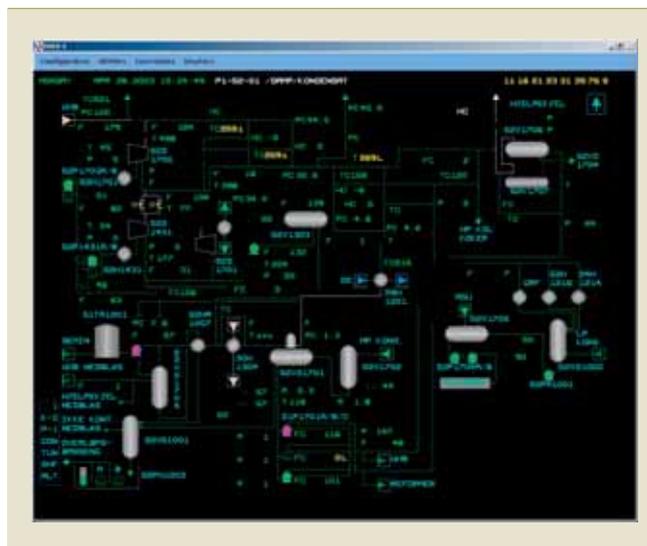
- Eine **Anforderungsspezifikation** zur Umsetzung der Gesamtziele für das System in konkrete Spezifikationen
- Eine **hierarchische und kognitive Aufgabenanalyse** zum besseren Verständnis der Aufgaben, Ziele und Erwartungen des Benutzers an das neue System
- Eine **funktionale Analyse** (Aufgabenzuordnung) zur Aufteilung der Arbeit zwischen Mensch und Leitsystem

Die Aufgabe des Systemdesigners besteht darin, die Ergebnisse der verschiedenen genannten Modelle und Methoden miteinander zu kombinieren, um ein wohlkonzipiertes und sicheres Automatisierungssystem zu gewährleisten.

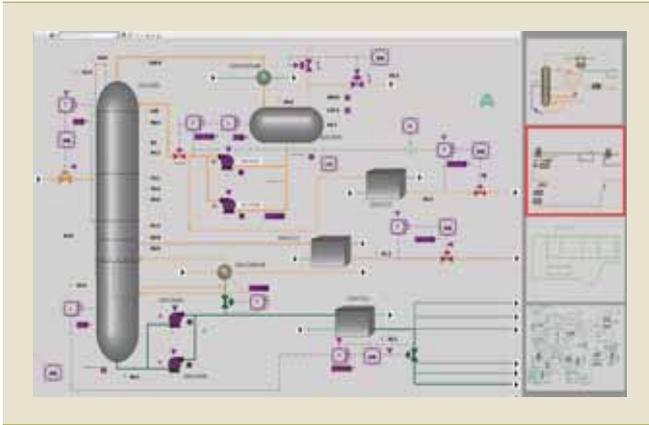
1 Der Industriekomplex Tjeldbergodden



2 Das alte System mit Verknüpfungen im Prozessschaubild



3 Navigation per Thumbnails

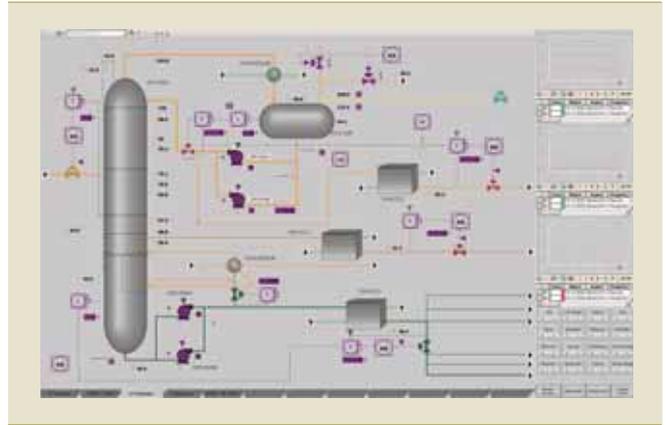


Auf jeden Fall wurde die Lösung als zu aufwändig für die Engineering-Phase erachtet.

Navigation über Registerkarten

Mit diesem Feedback im Hinterkopf startete das Designteam eine neue Designphase und entwickelte – inspiriert vom Opera Webbrowser, Microsoft Excel und Microsoft Visual Studio 2005 – ein Konzept mit Registerkarten für die Navigation in den Prozessgrafiken. Wie beim Blättern in einem Stapel aus Papierdokumenten sollen Registerkarten es dem Benutzer ermöglichen, schnell zwischen verschiedenen Dokumenten innerhalb einer Anwendung hin- und herzublätern. Für das Statoil-System wurde eine Leiste mit Registerkarten am unteren Ende und ein Navigationsbereich auf

4 Navigation über Registerkarten



der rechten Seite des Benutzerbildschirms platziert **4**. Die Registerkarten zeigen alle Prozessgrafiken eines Prozessbereichs, während im Navigationsbereich zwischen den verschiedenen Prozessbereichen navigiert werden kann.

Wieder wurde eine Testversion mithilfe von Bildbearbeitungsprogrammen und Microsoft PowerPoint erstellt. Die Benutzertests lieferten einige interessante Erkenntnisse:

- Die Benutzer haben das Modell einer logischen und strukturellen Hierarchie der Prozessgrafiken der Anlage im Kopf. Diese Hierarchie basiert auf den verschiedenen Funktionsbereichen der Anlage, deren Darstellung in drei verschiedenen Arten von Anzeigen aufgeteilt werden kann:
 - *Prozessanzeigen* mit einer Übersicht eines Prozessabschnitts,
 - *Detailanzeigen* mit näheren Einzelheiten zu dem in der Prozessanzeige dargestellten Prozessabschnitt,
 - *Matrixanzeigen* mit der Abschaltlogik für einen Prozessabschnitt.
- Die Benutzer möchten von der Navigationsleiste aus direkt zu den Detail- und Matrixanzeigen navigieren können und nicht über den entsprechenden Prozessbereich.
- Die Benutzer konnten keine Möglichkeit finden, direkt von einer Detailanzeige zur übergeordneten Prozessanzeige zu gelangen, ohne erst zu überlegen, in welchem Bereich sie sich befinden.

Der letzte Schritt des „Paper Prototyping“ bestand darin, die Vorschläge der Benutzer in eine Lösung für die drei Probleme einfließen zu lassen. Der

erste Vorschlag war die Realisierung eines direkten Zugangs zu den Registerkarten für die Detail- und Matrixanzeigen für jeden Prozessbereich über Verknüpfungen im Navigationsbereich. Ferner wurde vorgeschlagen, die Registerkarten für die Detailanzeigen mit einer kontextsensitiven „Nach oben“-Schaltfläche zu versehen, die direkt zur jeweils übergeordneten Anzeige führt.

Fazit

Die Verwendung von Paper-Prototyping-Methoden bot dem Projektteam mehrere Vorteile: Das Konzept konnte schnell erstellt werden, und das endgültige Design konnte dank der Verwendung einfacher Prototypen auf dem Papier mit geringem Aufwand festgelegt werden. Erfahrene Benutzer sind wertvolle Ideen- und Wissenslieferanten, und die Tatsache, dass sie zu einem frühen Zeitpunkt in das Projekt einbezogen wurden, hat ihnen nicht nur das Gefühl vermittelt, dass es um „ihre“ Lösung geht, sondern auch dass sie zur Lösung beigetragen haben.

Trond Tysseland
Torgeir Enkerud
Kristoffer Husøy

ABB AS
Norwegen
trond.tysseland@no.abb.com
torgeir.enkerud@no.abb.com
kristoffer.husoy@no.abb.com

Literaturhinweise

[1] <http://www.statoil.com/tjeldbergodden> (November 2006)

[2] Charlotte Skourup, John Pretlove: „Desigmethoden“, ABB Technik 1/2007, S. 31–34

Factbox 2 Lo-Fi Prototyping

Beim Lo-Fi-(Low-Fidelity-)Prototyping geht es darum, auf möglichst schnelle und effiziente Weise ein Feedback von Benutzern zu erhalten. Während bei der normalen Prototypenstellung häufig die eine oder andere Konstruktions- und/oder Programmierarbeit erforderlich ist und die Entwickler warten müssen, bis das Gesamtsystem nahezu fertiggestellt ist, bevor es mit potenziellen Benutzern getestet werden kann, werden beim Lo-Fi-Prototyping einfache Methoden wie Freihandskizzen, PowerPoint und Bildeditoren eingesetzt, um innerhalb weniger Stunden einfache Modelle zu erstellen, die die Hauptfunktionalität des Produkts demonstrieren. Damit wird sichergestellt, dass Rückmeldungen der Benutzer bereits zu Beginn des Projekts berücksichtigt werden und somit noch größere Änderungen möglich sind.



Eine bessere Übersicht über die Produktion, eine höhere Effizienz am Arbeitsplatz und eine bessere Ergonomie sind die Hauptmerkmale des System 800xA Extended Operator Workplace, dem neuen und umfassenden Arbeitsplatz für Leitwartenpersonal von ABB.

Der Arbeitsplatz basiert auf der einzigartigen System 800xA Software von ABB und kontinuierlichen technischen Fortschritten. Er wurde in Zusammenarbeit mit zwei skandinavischen Unternehmen entwickelt und wird nun auf dem Markt eingeführt. Die ersten Installationen sind abgeschlossen, und mehrere Kunden aus der Prozessindustrie warten auf die Auslieferung und Installation ihrer Systeme in der Hoffnung auf eine effektivere, sicherere und profitablere Produktion **1**.

Bediener können eine Gesamtansicht der Anlage und mehrere wählbare Ansichten gleichzeitig sehen. So können Fehler schneller erkannt und behandelt werden.

Eine häufige Forderung seitens der Kunden, die das ABB System 800xA und den Extended Operator Workplace gesehen und gewählt haben, ist, dass das Leitwartenpersonal den bestmöglichen Überblick über die Produktion haben sollte: „Wir möchten, dass unser Bedienpersonal einen guten Überblick über den Produktionsprozess hat und über bessere Möglichkeiten verfügt, um sicherzustellen, dass wir nur höchste Qualität für unsere anspruchsvollen Kunden produzieren. Aus diesem Grund haben wir beschlossen, unsere Leitwarte mit dem System 800xA Extended Operator Workplace von ABB auszustatten“.

Ein anderer Kommentar bezieht sich auf die wirkungsvolle Kombination aus einem großen Übersichtsdisplay und mehreren normalen Monitoren mit voller Interaktionsfähigkeit: „Das wichtigste ist, dass unser Bedienpersonal

Im Blickpunkt: Produktivität

Der Traum von der ergonomischen Leitwarte
Per Lundmark

Grundsätzlich gilt, dass das richtige Werkzeug dabei hilft, die Produktivität zu steigern. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Fortschritt in der Leitwartentechnik. Ein gutes Werkzeug definiert sich dabei nicht nur durch den Umfang seiner Funktionen, sondern auch durch seine Benutzerfreundlichkeit. Das Bedienpersonal in einer Leitwarte muss jederzeit rasch und intuitiv auf die relevanten Informationen zugreifen können. Jede Verzögerung oder verwirrende Darstellung der Informationen erhöht das Risiko von Fehleinschätzungen und Produktionsverlusten. ABB hat sich dieser Herausforderung angenommen und einen Arbeitsplatz entwickelt, der es den Bedienern ermöglicht, mit allen dargestellten Displays zu interagieren. Damit setzt ABB neue Maßstäbe in puncto Ergonomie und Interaktivität für Leitwarten.

Kapitalproduktivität

eine Gesamtansicht der Anlage und mehrere wählbare Ansichten gleichzeitig sehen kann. Tritt ein Fehler auf, können sie ihn sofort erkennen und schneller darauf reagieren. Und er lässt sich leichter beheben. Dies hilft uns dabei, die Anzahl der Produktionsstopps zu minimieren.“

Eine Reihe verschiedener Kunden aus der Prozessindustrie, der petrochemischen Industrie und dem Kraft-Wärme-Kopplungsbereich haben die Vorteile eines effizienten Bedienerarbeitsplatzes erkannt und erwarten die Auslieferung der neuen Präsentationstechnik.

Das Herzstück des Arbeitsplatzes bildet das Automatisierungssystem 800xA von ABB mit seiner speziellen Visualisierungskomponente „Operations“. Das Operations-Paket enthält die Bedienoberfläche und die Software, die in der Lage ist, Informationen auf unterschiedliche Weise auf verschiedenen Arten von Bildschirmen darzustellen und somit einzigartige Übersichten zu liefern.

Über 40 % aller Produktionsstopps lassen sich auf Bedienerfehler zurückführen. In den meisten Fällen konnten die Bediener nicht rechtzeitig auf wichtige Informationen zugreifen.

Mit Operations wurde die Grundlage für die Entwicklung einer völlig neuen Art von Bedienerarbeitsplatz gelegt. Dazu schloss sich ABB mit den beiden skandinavischen Unternehmen Creative Grafiska Möbler AB, einem Entwickler und Hersteller von Leitwartenmöbeln, und 3D-Perception AS, einem Anbieter von Projektoren für Breitwanddisplays, zusammen. Nach mehreren Jahren der Entwicklung ist der System 800xA Extended Operator Workplace nun bereit, Einzug in die Leitwarten der Welt zu halten.

Der Bedienerarbeitsplatz umfasst einen Bedientisch, der in zwei Größen erhältlich ist und mit einem oder zwei

Arbeitsplätzen mit bis zu vier Monitoren spezifiziert werden kann. Ein Platz steuert einen Breitwandbildschirm, auf dem über zwei oder drei hinter dem Tisch angeordnete Projektoren Informationen projiziert werden. Dank der einzigartigen Software des System 800xA, die die Darstellung der Bilder vollautomatisch und auf ergonomische Weise steuert, lassen sich die Arbeitsplätze wie gewünscht konfigurieren. So sind zahlreiche Kombinationen der Darstellung zwischen den Monitoren und dem Breitwandbildschirm möglich.

ABB ist davon überzeugt, dass eine gute Ergonomie und Übersicht entscheidend zur Reaktionsfähigkeit der Bediener und der Vermeidung von Fehlern beitragen. Das Ziel ist es, die Zahl der unbeabsichtigten Produktionsstopps zu minimieren und ein sicheres und gleichbleibend hohes Qualitätsniveau in der Produktion sicherzustellen.

Die Entwicklungsarbeit folgte einer Reihe von Richtlinien für einen guten Leitwartenarbeitsplatz. Dieser sollte

- einen guten Überblick über den Prozess ermöglichen,
- modern und attraktiv sein,
- über Einrichtungen verfügen, die bestehende, schwierig zu handhabende Wandtafeln ersetzen,

- in der Lage sein, Videomitore (z. B. zur Videoüberwachung) zu integrieren,
- so gestaltet sein, dass Besucher die Bediener nicht stören,
- ergonomisch gestaltet und gut ausgeleuchtet sein und über einen niedrigen Geräuschpegel verfügen,
- die Konsolidierung und Kommunikation zwischen verschiedenen Leitwarten im Verlauf der Produktion ermöglichen,
- vollständig interaktiv sein.

Der wichtigste Aspekt bei einem neuen Leitwartenarbeitsplatz ist die Möglichkeit zur Darstellung von Übersichten. In vielen Leitwarten in verschiedenen Branchen finden sich große Bildschirme, die keinerlei Interaktionsmöglichkeiten bieten und häufig nur Trenddarstellungen zeigen, die keinen besonders großen Nutzen bieten. In einer solchen Leitwarte müssen die Bediener nicht selten mit nur zwei Monitoren, unvollständigen Informationen und ungünstig platzierten Videomonitoren für wichtige Überwachungskameras zurecht kommen.

Über 40 % aller Produktionsstopps lassen sich auf Bedienerfehler zurückführen. In den meisten Fällen liegt es daran, dass die Bediener nicht in der Lage waren, rechtzeitig an wichtige Informationen zu gelangen. Seine

- Das System 880xA und der Extended Operator Workplace ermöglichen eine effiziente, sicherere und profitable Produktion.



- 2 Dank der externen Matrox Grafikeinheit können die Computer in einen anderen Raum ausgelagert werden, um die Wärmeabgabe und Geräuschemissionen in der Leitware zu reduzieren.



hervorragende Übersicht verdankt der System 800xA Extended Operator Workplace der flexibel konfigurierbaren Anzeige von Informationen auf verschiedenen Bildschirmen und Projektoren.

So können zum Beispiel Übersichten auf dem großen Breitwandschirm und Details, Diagramme und andere Informationen auf den Monitoren dargestellt werden. Umgekehrt kann auch ein einzelnes Bild, z. B. ein Diagramm, über drei Monitore angezeigt werden, während auf dem großen Schirm mehrere Trenddarstellungen in kleineren Fenstern projiziert werden. Sämtliche Darstellungen werden von der in 800xA Operations enthaltenen Software korrekt und automatisch in separaten Fenstern und in einem deutlichen und lesbaren Format geöffnet.

Der Breitwandschirm kann auf verschiedene Weise genutzt werden:

- Zur Darstellung eines einzelnen durchgängigen Bilds
- Zur überlappenden Darstellung aller Bilder des Systems
- Zur Gruppierung von mehreren verschiedenen Bildern
- Zur Anzeige von Informationen für Besucher
- Zur Anzeige von Live-Videobildern anstelle von separaten Monitoren

Ein weitere wichtige Aufgabe des Arbeitsplatzes ist es, die Arbeitsumgebung des Leitwartenpersonals zu verbessern. Damit möchte ABB die

Die interaktive Displaytechnologie von ABB bietet den Bedienern optimale Unterstützung.



Rolle der Bediener verändern und ihnen die Möglichkeit geben, effizienter zu arbeiten und eine größere Erfüllung in ihrer Arbeit zu finden.

Zu den Verbesserungen der Arbeitsumgebung gehört auch die Höhenverstellbarkeit der gekrümmten Arbeitsfläche und der Tische. Der Breitwandschirm ist ebenfalls höhenverstellbar und kann leicht gewölbt werden, um eine gute Sichtbarkeit von allen Sitzplätzen der Bediener zu gewährleisten. Dadurch, dass der Schirm direkt hinter dem Tisch und nicht wie sonst üblich an der Wand montiert ist, wird die Übersicht nicht durch herumlaufende Personen gestört. Ferner können die Computer außerhalb des Raumes untergebracht werden, um Problemen hinsichtlich Wärme, Geräusche, Platz und Sicherheit vorzubeugen.

Letzteres wird ermöglicht durch eine neue Technologie des Elektronikherstellers Matrox Graphics. Hierbei wird die Standard-Grafikkarte des Arbeitsplatzrechners oder Servers durch eine Transmitterkarte ersetzt, die über Glasfaserkabel mit einer externen Grafikeinheit (Remote Graphics Unit, RGU) auf der Bedienerseite verbunden werden kann 2. Die RGU enthält alle erforderlichen Schnittstellen einschließlich vier Monitoranschlüsse, sechs USB-Ports für Peripheriegeräte wie Tastatur und Maus sowie Audio-Anschlüsse für Lautsprecher. Die RGUs von Matrox sind mit allen Installationen des System 800xA kompatibel.

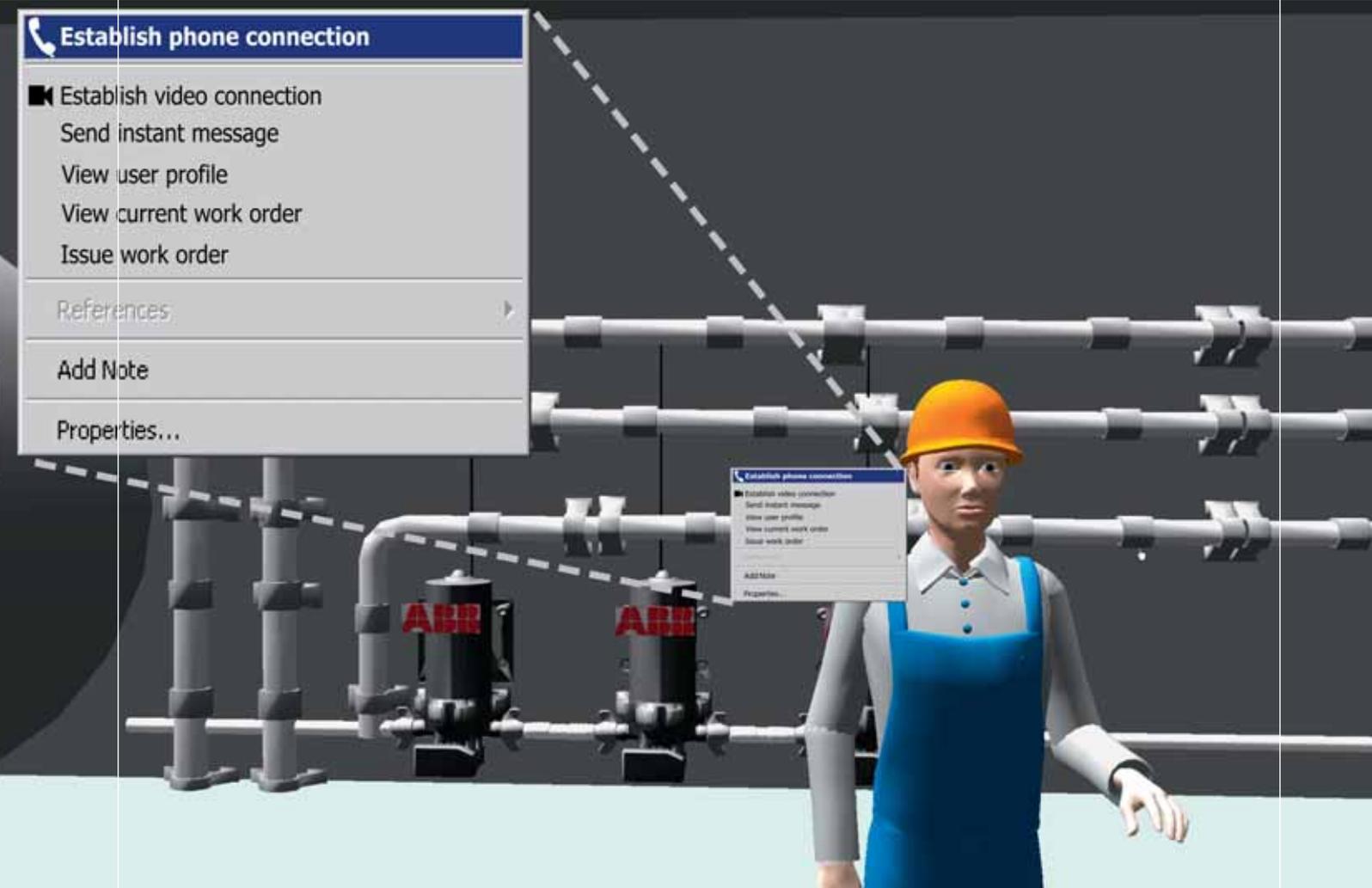
Das internationale Beratungsunternehmen ARC Advisory Group wurde damit beauftragt, verschiedene Technologien für Bedienerarbeitsplätze zu vergleichen und Empfehlungen für zukünftige Entwicklungen aufzustellen. Im Rahmen dieser Studie wurde auch der System 800xA Extended Operator Workplace untersucht und als „ein ergonomisch optimierter Arbeitsplatz“ hervorgehoben, der „auf die Verbesserung der Arbeitsumgebung und Effizienz der Bediener ausgelegt wurde mit Merkmalen, die der Ermüdung entgegenwirken und das Verständnis des Bedieners erweitern.“

Der System 800xA Extended Operator Workplace wurde auf einer Reihe von Messen rund um den Globus vorgestellt und hat großes Interesse hervorgerufen. Viele Besucher waren sich einig, dass „dies genau der Arbeitsplatz ist, den sie sich wünschen!“

Per Lundmark
ABB Automation Technologies AB
Västerås, Schweden
per.lundmark@se.abb.com

Die dritte Dimension

3-D-Darstellungen verbessern das Situationsbewusstsein von Leitwartenpersonal
Kristoffer Husoy, Torgeir Enkerud



Dank immer höherer Rechenleistung und fortschrittlicheren Regelalgorithmen sind Computer in der Lage, immer komplexere Aufgaben in der Prozessführung zu übernehmen. Wie sieht dann die Zukunft für das Personal in der Leitwarte aus? Die Vorstellung, dass der Computer die Anlage ganz allein steuert, dürfte in absehbarer Zukunft eher unwahrscheinlich sein, denn die Fähigkeit des Menschen zum kreativen Denken, Beurteilen von Situationen und Improvisieren bleibt unerreichbar. Doch das Leitwartenpersonal nimmt zunehmend Managementaufgaben wahr, die keinen direkten Kontakt mit der Anlage mehr erfordern. Folglich verfügen die Bediener über immer weniger detaillierte Kenntnisse der Anlage, sodass die Effektivität der Mitarbeiter in zunehmendem Maße von der Art und Weise abhängt, wie ihnen Informationen präsentiert werden.

ABB entwickelt derzeit eine dreidimensionale Bedienoberfläche für den Öl- und Gassektor, die es dem Benutzer ermöglicht, in die Anlage hineinzusehen und sich einen Überblick über die dortigen Vorgänge zu verschaffen. Darüber hinaus hilft die 3-D-Ansicht bei der Kommunikation mit dem Feldpersonal, da beide die gleiche Sicht auf die Anlage haben. So können Missverständnisse und Fehlhandlungen verhindert werden.

Industrielle Prozesse werden von menschlichen Bedienern gesteuert, wobei sie von Prozessleitsystemen unterstützt werden. Daran wird sich in absehbarer Zukunft wohl auch nichts ändern. Trotz zunehmender Automatisierung und der damit verbundenen Reduzierung von Arbeitskräften werden die herausragenden kreativen und problemlösenden Fähigkeiten des Menschen am Bedienpult noch viele Jahre unentbehrlich bleiben. Dies bedeutet, dass Bediener und Automatisierungssysteme bei der Überwachung und Kontrolle industrieller Prozesse weiterhin eng zusammenarbeiten müssen. Eine klare und effiziente Kommunikation zwischen Mensch und Maschine ist somit Voraussetzung für ein optimales Funktionieren der Prozesse.

Diese Überlegungen bilden die Grundlage für ein ABB Forschungsprojekt in Norwegen, das sich mit den besonderen Anforderungen in Anlagen der Öl- und Gasindustrie befasst. In solchen Anlagen muss das Leitsystem die Informationen auf klare und intuitive Weise darstellen, damit der Anlagenfahrer seine Stärken ausspielen kann: Interpretationsfähigkeit, Problemlösungsfähigkeit und Kreativität. Ist das Leitsystem in der Lage, die Informationen gut auf den Menschen zugeschnitten darzustellen, kann der Bediener mehr Informationen verarbeiten und die Lage schneller einschätzen.

Die Rolle des Menschen

Die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit einer Anlage basiert auf den Fähigkeiten der Anlagenfahrer, die eine ent-

scheidende und unverzichtbare Rolle für den Anlagenbetrieb spielen. Heutzutage werden industrielle Prozesse größtenteils von einer zentralen Leitwarte aus gesteuert. Das Personal in der Leitwarte ist verantwortlich für die Überwachung des Prozesses. Dies beinhaltet wichtige Entscheidungen zur Prozessoptimierung, die Planung von Wartungsarbeiten und das Reagieren auf kritische Alarmsituationen.

Doch das Personal in der Leitwarte führt den Prozess nicht allein, sondern in Zusammenarbeit mit dem Feldpersonal. Die Kollegen in der Anlage sind sozusagen die Hände und Augen des Leitwartenpersonals auf der Prozessebene. Zu ihren Aufgaben gehört die Bedienung, Konfiguration und Kalibrierung der Betriebsmittel vor Ort sowie die Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben in Zusammenarbeit mit spezialisierten Wartungs- und Instandhaltungsteams. Außerdem spielen Prozessingenieure, Instrumentierungsingenieure, zugeschaltete Experten und Verwaltungspersonal eine Rolle im täglichen Betrieb einer Anlage.

Die Gesamtleistung einer Anlage hängt davon ab, wie gut alle beteiligten Systeme und Akteure zusammenarbeiten. Diese Zusammenarbeit kann am selben Ort (Co-located Collaboration) oder dezentral (Remote Collaboration) erfolgen. Sind alle am selben Ort tätig, setzen sich Mitglieder des Prozessleitpersonals, des Feldpersonals und des Führungspersonals zusammen, um Probleme zu besprechen und Betriebs-

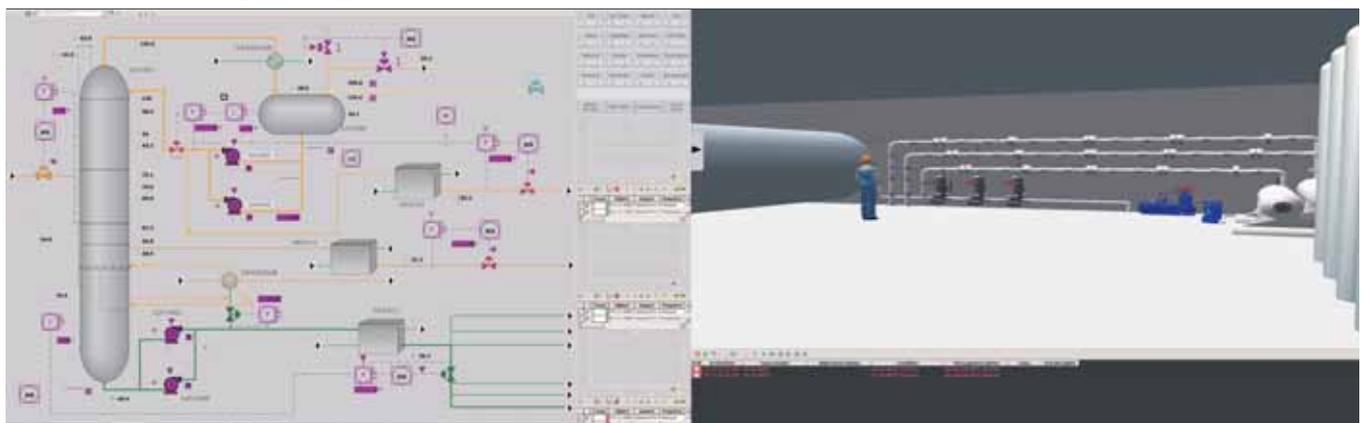
abläufe zu planen. Dazu gehören Abschaltungen, Wiederanläufe, Wartungspläne und Optimierungsmaßnahmen. Bei der Fernkooperation arbeitet das Personal vor Ort mit dezentralen Mitarbeitern – Feldpersonal oder zugeschalteten Experten – zusammen. Wird in der Anlage zum Beispiel eine Wartung durchgeführt, sorgt das Prozessleitpersonal zusammen mit dem Feldpersonal für eine möglichst sichere Durchführung der Arbeiten. Das Prozessleitpersonal sorgt dafür, dass die betreffenden Betriebsmittel ordnungsgemäß verriegelt werden und unterstützt das Feldpersonal bei ihren Wartungsaufgaben.

Beide Szenarien erfordern eine enge Zusammenarbeit zwischen einzelnen Personen mit unterschiedlichen Fachkenntnissen und häufig auch mit unterschiedlichem kulturellen, technischen und sozialen Hintergrund.

Die Zukunft steht vor der Tür

Bei einem Blick in die Zukunft zeichnen sich mehrere Trends ab, die sich auf die Situation und die Rolle des Leitwartenpersonals auswirken werden. Da wäre zum einen die Zentralisierung von Leitwarten, die zurzeit durch die Forderung nach mehr Rentabilität, Kostenreduktion, Betriebssicherheit und Effizienz vorangetrieben wird. Dieser Trend in der Ölindustrie, der auch als „Integrated Operations“, „eFields“ oder „Felder der Zukunft“ bezeichnet wird, wird weitreichende Auswirkungen auf die Art und Weise haben, wie Öl- und Gasanlagen in Zukunft gesteuert werden.

Eine enge Integration von traditioneller Bedienoberfläche und geplanter 3-D-Schnittstelle ist entscheidend für eine verbesserte Effizienz und Unterstützung des Situationsbewusstseins der Bediener.



Kapitalproduktivität

Befindet sich die Leitwarte nicht direkt an der Anlage, wird das Leitwartenpersonal auf Dauer nicht in der Lage sein, sich detaillierte Kenntnisse der physischen Gegebenheiten und räumlichen Verhältnisse innerhalb der Anlage zu bewahren. Dies kann dazu führen, dass nur noch Feldmitarbeiter über detaillierte standortspezifische Kenntnisse verfügen, während sich das Leitwartenpersonal vorwiegend auf administrative und optimierungsbezogene Aufgaben konzentriert. Dabei wird es wahrscheinlich so sein, dass ein Anlagenfahrer für größere Anlagenbereiche oder gar mehrere verschiedene Anlagen verantwortlich ist.

Ein weiterer sich abzeichnender Trend ist, dass die Ölfirmen die Verantwortung für ihre Betriebsmittel und Teilanlagen in Form von Servicevereinbarungen verstärkt an die Anbieter übertragen. Da die Anbieter – wie ABB – nicht an allen Standorten eigenes Personal zur Verfügung stellen können, werden die Anlagen von einer zentralen Stelle aus überwacht und gesteuert. Das setzt nicht nur voraus, dass die Anbieter Zugang zu allen relevanten Echtzeit-Daten der Anlage haben, sondern auch über effiziente Werkzeuge zur Kommunikation und Zusammenarbeit mit dem Personal vor Ort verfügen.

Und schließlich zeichnet sich ab, dass durch weitere Fortschritte auf dem Gebiet der Instrumentierung und Messsysteme, der Rechenleistung und Netzwerke immer größere Datenmengen produziert werden. Diese Daten werden nicht nur häufiger übertragen, sondern auch die Zahl der Sensoren, die ihre Daten in die Leitwarte übermitteln, nimmt zu. So laufen immer mehr Daten in der Leitwarte auf, wodurch die Gefahr einer Informationsüberflutung zunimmt.

Aus der Sicht des Menschen
Trotz dieser Entwicklungen bleibt der Trend zur Personalreduzierung bestehen. Doch die vollständige Automatisierung solcher Prozesse ist weder realistisch noch wünschenswert. So wird auch in absehbarer Zukunft der Mensch die führende Rolle spielen, was aber stark von seiner Fähigkeit zur Kommunikation mit der Automatisierung abhängt. Betrachtet man dies aus der Sicht des Menschen, ergeben sich für einen Leittechnik-Anbieter wie ABB eine Reihe interessanter Schlussfolgerungen:

Unterstützung des Situationsbewusstseins der Bediener
Der Bediener muss den Zustand der Anlage zu jeder Zeit verstehen, d. h. er muss die richtigen Informationen in der richtigen Menge zur Verfügung gestellt bekommen und – was noch wichtiger ist – die Informationen müssen so dargestellt werden, dass er in der Lage ist, sie zu erfassen und entsprechend zu reagieren.

Gewährleistung einer optimalen Aufgabenverteilung zwischen Bediener und Leitsystem
Es sollte eine bewusste Entscheidung darüber getroffen werden, welche Aufgaben von den Bedienern durchgeführt und welche automatisiert werden sollen. Eine Möglichkeit besteht darin, die Aufgaben auf der Grundlage der jeweiligen Fähigkeiten zuzuweisen. Auf diese Weise kann die Gesamtleistung des Systems – einschließlich Mensch und Computer – optimiert werden. Dazu gehört, dass die dem menschlichen Bediener zugewiesenen Aufgaben zu seinen Fähigkeiten passen und der Computer die Aufgaben übernimmt, für die er wiederum am besten geeignet ist (siehe [Tabelle](#)).

Unterstützung von Remote- und Co-located Collaboration
Wie bereits erwähnt, sind verschiedene Gruppen am erfolgreichen Betrieb einer Anlage beteiligt. Umso wichtiger ist es, die Zusammenarbeit zwischen ihnen zu unterstützen. Das bedeutet, dass alle Beteiligten Zugang zu den gleichen Informationen haben müssen. Sie müssen die Möglichkeit haben, Informationen gemeinsam zu nutzen und ein Verständnis für die Situation und den Kontext der anderen zu entwickeln.

3-D-Visualisierung als Lösung
Im Rahmen eines Forschungsprojekts untersucht ABB Oil & Gas in Norwegen zurzeit, wie sich die oben beschriebenen Probleme mithilfe einer dreidimensionalen Anlagendarstellung lösen lassen. Die Idee besteht darin, 3-D-Modelle der Anlage und sämtlicher Betriebsmittel in die Bedienoberfläche zu integrieren. Die 3-D-Modelle werden mit korrekten Dimensionen im Verhältnis zum realen Anlagenlayout erstellt und sind eng mit den entsprechenden Objekten des Leitsystems verknüpft. Der Bediener kann innerhalb des Modells navigieren, Einzelheiten untersuchen, sich einen Überblick verschaffen und die physischen und räumlichen Verhältnisse deutlich erkennen.

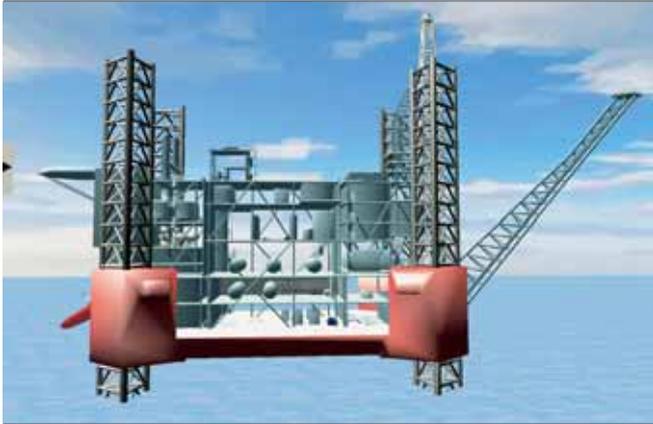
Welche Vorteile bietet nun die Einführung einer neuen Dimension? Eine dreidimensionale Oberfläche ist lebensnah und somit leicht (wieder)erkennbar. Sie zeigt Verhältnisse und Dimensionen auf intuitive Weise und kommt somit dem menschlichen Verstand entgegen. Der Mensch ist gewohnt, Objekte wahrzunehmen, sich an Orte und Verhältnisse zu erinnern und sich in drei Dimensionen zu orientieren – und dies kann er sogar außerordentlich gut. So lassen sich komplexe Informationen in drei Dimensionen effizienter darstellen als mit herkömmlichen Darstellungsmethoden.

Die Vorteile von 3-D-Modellen zur Darstellung von Prozessen und Anlagen auf Bedienoberflächen liegen auf der Hand. Durch die Erweiterung der Prozessleitschnittstelle um eine 3-D-Schnittstelle lassen sich viele der oben erwähnten Probleme beseitigen. Der

Tabelle Stärken von Mensch und Computer bei der Entscheidungsfindung nach Fitt

Der Mensch kann besser	Computer können besser
■ Muster erkennen	■ Regelungsaufgaben schnell ausführen
■ improvisieren und flexible Prozeduren anwenden	■ sich wiederholende und routinemäßige Aufgaben ausführen
■ sich zur richtigen Zeit an relevante Fakten erinnern	■ deduktiv schlussfolgern
■ induktiv schlussfolgern und Urteile bilden	■ viele komplexe Aufgaben gleichzeitig bewältigen

Das 3-D-Modell liefert einen Überblick über die Positionen von Objekten, Personal und andere räumliche Aspekte.



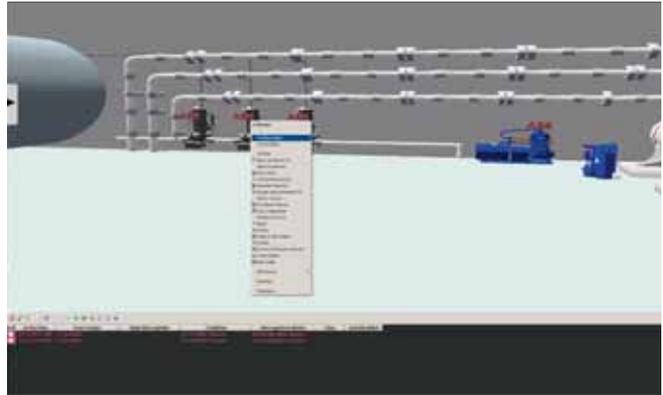
Bediener bekommt einen besseren Eindruck von der Situation und wird vom mentalen Stress entlastet, die Situation verstehen oder sich an einen bestimmten Ort erinnern zu müssen. Darüber hinaus kann eine 3-D-Darstellung die Zusammenarbeit der Beteiligten vereinfachen. So werden die physischen Grenzen dessen, was ein Mitarbeiter vor Ort tun kann, die physischen Verhältnisse zwischen verschiedenen Objekten und die Lage von Komponenten beim Blick auf die dreidimensionale Darstellung der Anlage sofort auf intuitive Weise deutlich. Der Bediener muss nicht einmal vor Ort gewesen sein oder sich erinnern können, in welchem Bereich sich eine Komponente befindet – die Benutzerschnittstelle zeigt es klar und eindeutig.

Ist die Position von Feldmitarbeitern vor Ort bekannt – zum Beispiel durch ein entsprechendes Verfolgungssystem – werden die Vorteile noch deutlicher. Die Mitarbeiter müssen nicht mehr erklären, was sie sehen bzw. wo sie sich befinden – diese Informationen werden von der Schnittstelle genau angezeigt. Die eigene Position über ein Sprechfunkgerät zu erklären, ist nicht leicht, besonders wenn der Kollege in der Leitwarte oder der zugeschaltete Experte mit den Gegebenheiten nicht vertraut ist. Kommt es zu einer kritischen Situation, können durch ein klares Situationsverständnis wertvolle Sekunden gespart werden. Und nicht nur das, auch die Möglichkeit von Missverständnissen wird drastisch reduziert. Da der Bediener in der Leitwarte genau sehen kann, welche Kom-

ponente der Feldmitarbeiter vor sich hat, können Fehler wie falsche Benennungen oder Fehlinterpretationen viel leichter erkannt werden.

Auf die traditionelle Prozessgrafik kann allerdings nicht verzichtet werden, was auch nicht das Ziel ist. Entscheidend ist eine enge Integration der traditionellen Prozessgrafik und der 3-D-Schnittstelle. Der Bediener muss ohne großen Aufwand zwischen beiden Darstellungen hin- und herschalten und die für den jeweiligen Moment am besten geeignete Darstellung wählen können. Denn beide Oberflächen bieten spezifische Vorteile, die es zu verstehen und zu nutzen gilt. So bietet die traditionelle zweidimensionale Oberfläche eine wirksame Möglichkeit zur Darstellung einer vereinfachten und strukturierten Übersicht, während die dreidimensionale Oberfläche sich besser zur Darstellung der Verhältnisse und physischen Aspekte innerhalb einer Prozessanlage eignet. Außerdem eignet sich eine dreidimensionale Umgebung besser zur Navigation in großen Informationsräumen, was eine besondere Herausforderung für das Leitwartenpersonal darstellt. Das Navigieren zwischen Prozessgrafiken ist heutzutage eine mühsame Angelegenheit. Dennoch müssen die Anlagenfahrer in der Lage sein, schnell die gewünschten Informationen zu finden. Durch eine bessere Unterstützung des räumlichen Bewusstseins und die Bereitstellung von Möglichkeiten zur effizienten Bewegung zwischen entfernten Standorten ist eine leichte und natürliche

Die Interaktion mit den Objekten kann auf dieselbe Weise erfolgen wie bei der herkömmlichen Bedienoberfläche. Das Kontextmenü bietet Zugang zu allen Aspekten einer Komponente.



Navigation möglich, bei der sich die Benutzer vorwiegend auf die Lösung von Problemen konzentrieren können.

Wie fern ist nun diese Zukunft? ABB hat einen Prototypen entwickelt, der innerhalb des System 800xA arbeitet. Dies ist ein notwendiger Schritt, um wertvolles Feedback von Anwendern, Kunden und Kollegen zu erhalten. Der wirkliche Nutzen von dreidimensionalen Bedienoberflächen lässt sich nur durch Tests unter realen Bedingungen und experimentelle Untersuchungen ermitteln. Bisherige Ergebnisse zeigen eine verbesserte Interaktion bei vielen Problemen, mit denen es das Leitwartenpersonal von heute zu tun hat.

Kristoffer Husoy
ABB Strategic R&D for Oil & Gas
Oslo, Norwegen
kristoffer.husoy@no.abb.com

Torgeir Enkerud
ABB Strategic R&D for Oil & Gas
Oslo, Norwegen
torgeir.enkerud@no.abb.com

Schwachstellen im Blick

Neue Tools zur Visualisierung des Zustands von Stromnetzen

Mats Larsson, Reynaldo Nuqui, Linda-Maria Johansson, Stefan Bengtzing



Die letzten großen Blackouts haben gezeigt, wie verwundbar elektrische Übertragungsnetze sind. Häufig werden diese Ausfälle durch die Überlastung von Betriebsmitteln verursacht oder verschlimmert. Durch die daraus resultierenden Abschaltungen verlagert sich die Überlast auf andere Leitungen, und der Blackout mit all seinen schlimmen Folgen für die Produktivität von Unternehmen und die Sicherheit und den Komfort des Menschen kann sich in Windeseile ausbreiten.

In den meisten Fällen kann der Schaden in Grenzen gehalten werden, wenn das Bedienpersonal zur richtigen Zeit die richtigen Entscheidungen trifft. Doch dazu müssen die erforderlichen Informationen in leicht zugänglicher Form zur Verfügung stehen.

ABB bietet innovative Lösungen für Leitwarten mit grafischen Anzeigen, die die aktuelle Last auf allen Leitungen visualisieren und dabei helfen, Schwachstellen im Netz aufzudecken. Dabei wird die Netztopologie mit geografischen Informationen und Umweltdaten verknüpft, sodass die Gefährdung einer Leitung durch Witterung oder Vegetation frühzeitig erkannt werden kann.

In den meisten Teilen der Welt steigt der Energiebedarf, während der Ausbau der Stromnetze aufgrund ökologischer und wirtschaftlicher Bedenken immer langsamer vonstatten geht. Das Ergebnis ist eine zunehmende Belastung der Stromnetze und mangelnde Reserven bei Ausfällen von Betriebsmitteln.

Zu großflächigen Stromausfällen kommt es normalerweise, wenn innerhalb weniger Minuten oder gar Sekunden mehrere Komponenten ausfallen. Die Leitsysteme der Energieversorger sammeln Daten von Sensoren innerhalb des Netzes und werten diese Informationen aus, um festzustellen, ob aufgrund des Systemzustands ein sicherer Betrieb und die Erfüllung des Leistungsbedarfs gewährleistet ist.

Die meisten heutigen Anwendungen melden Probleme nur für einzelne Komponenten (z. B. überlastete Leitungen oder Unter-/Überspannungen an bestimmten Punkten). Wenn etwas schief geht, sind die Energieversorger häufig davon abhängig, dass die Bediener die richtigen Maßnahmen ergreifen, um zu verhindern, dass sich ein alltägliches Ereignis wie der Ausfall einer einzelnen Komponente (z. B. einer Leitung oder eines Transformators) lawinenartig ausbreitet und zu einem großflächigen Blackout führt. Ein typisches Übertragungsnetz kann aus Tausenden von Leitungen und Unterstationen bestehen, sodass sich

im Betrieb eine riesige Menge von Messdaten ansammelt. Ohne Hilfe kann ein Bediener den Informationsgehalt dieser Daten unmöglich zeitnah erfassen. Deshalb gewinnen entsprechende Tools zur Beurteilung der Betriebssicherheit und eine Visualisierung, die die Daten zu nutzbaren Informationen aufbereitet, zunehmend an Bedeutung. Auszüge aus dem North American Blackout Report vom August 2003 [1] unterstreichen dies (siehe **Infobox**).

Ein Ziel der in diesem Artikel vorgestellten Lösung besteht darin, Netzoperatoren ein besseres Situationsbewusstsein zu vermitteln. Dies kann mit Tools erreicht werden, die Messdaten aus dem Netz mithilfe moderner Stabilitätsbeurteilungs- und Visualisierungsverfahren verarbeiten.

Visualisierung statischer Netzdaten
ABB bietet eine Reihe von Softwaresystemen für das Netzmanagement auf der Basis von SCADA¹⁾- und Zustandsschätzungspaketen, die eine detaillierte und präzise Darstellung des Netzes mit einer zeitlichen Auflösung von wenigen Sekunden bis einigen Minuten ermöglichen. Dies reicht aus, um alle statischen Aspekte des Netzbetriebs wie Blindleistungsbilanz und -reserven, Belastungsgrenzen von Betriebsmitteln oder Übertragungswegen und Spannungsprofile zu analysieren. Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Mensch visuelle Informationen schnell

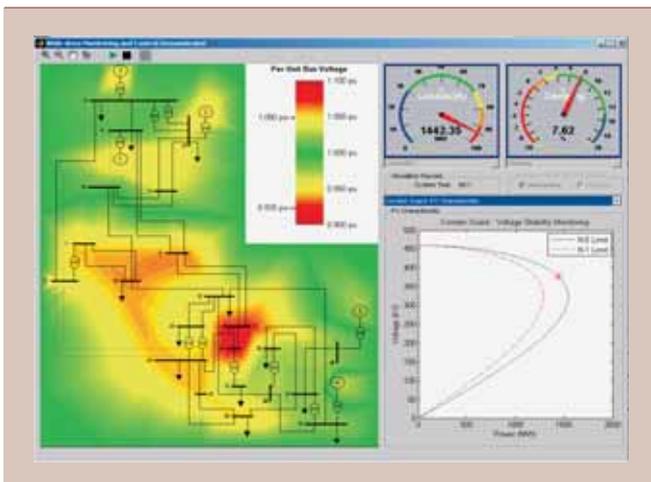
ler aufnehmen und analysieren kann als numerische Informationen [2]. Mithilfe von Konturendarstellungen der Spannungs-, Last- oder Erzeugungsprofile lassen sich die systemweiten Betriebsbedingungen so visualisieren, dass der Bediener Schwachstellen im Netz auf einen Blick erkennen kann.

1 zeigt ein Beispiel, in dem die Spannungswerte durch Farbkonturen dargestellt sind. Die roten Bereiche in der Mitte des Systems weisen auf eine un-

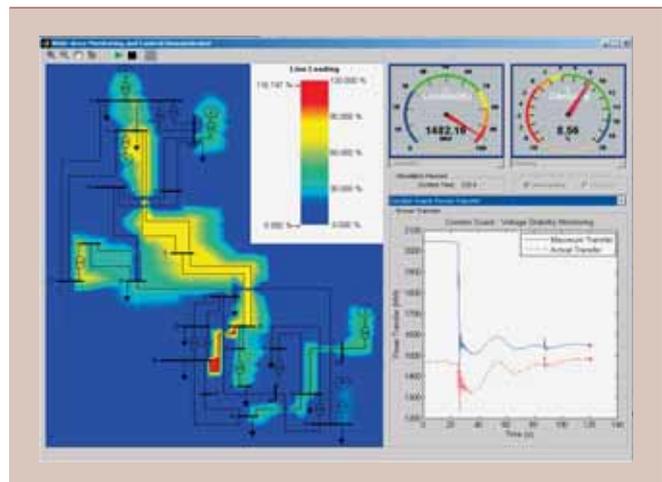
Infobox Auszüge aus dem North American Blackout Report vom August 2003 [1]

- **Beobachtung** – „Ein Hauptgrund für den Blackout am 14. August war mangelndes Situationsbewusstsein, was wiederum auf unzureichende Zuverlässigkeitstools und Reserven zurückzuführen war.“
- **Motwendige Maßnahmen** – „Eine verbesserte Transparenz des Netzstatus über den eigenen Regelungsbereich hinaus würde Operateuren dabei helfen, den Betrieb so anzupassen, dass mögliche Probleme abgemildert werden.“
- **Beobachtung** – „Dies führte zu einer Unfähigkeit, IT-bezogene Ausfälle (Ausfall von Hardware/Software, schädlicher Programmcode, fehlerhafte Konfigurationen usw.) zu erkennen, zu beurteilen, darauf zu reagieren und sie zu beheben.“
- **Notwendige Maßnahmen** – „IT- und EMS-Supportmitarbeiter implementieren technische Kontrollinstrumente zur Erkennung, Handhabung und Behebung von System- und Netzproblemen.“

1 Visualisierung von Spannungswerten durch Farbkonturen – die rote Fläche in der Mitte des Systems weist auf Bereiche mit ungewöhnlich niedriger Spannung hin.



2 Visualisierung der Leitungsbelastung mithilfe einer Konturendarstellung – die Färbung gibt die Belastung der Leitungen im Verhältnis zu ihrer Kapazität an.



Kapitalproduktivität

gewöhnlich niedrige Spannung hin. Nach einer raschen Lokalisierung können zur näheren Untersuchung der Ursache und Bestimmung einer möglichen Lösung detailliertere numerische Anzeigen aufgerufen werden. In einem Konturendiagramm gibt die Farbe das Ausmaß der Gefährdung und die Lage auf der Konturenkarte die geografische Lage des Problem-bereichs an. Verglichen mit einem herkömmlichen Alarm oder einer Warnmeldung, bei der die Lage normalerweise nur in Textform angegeben wird, ist es für den Bediener so viel leichter, eine Lösung für das Problem zu finden. Treten gleichzeitig an mehreren Orten Abweichungen vom normalen Spannungsprofil auf, kann mithilfe der farbigen Darstellung schnell das Ausmaß der Gefährdung für die Netzsicherheit eingeordnet und die

Schwerpunkte für Korrekturmaßnahmen festgelegt werden.

Sobald eine Schwachstelle auf der Konturenkarte gefunden wurde, kann der Bediener vorbeugende Maßnahmen treffen, um zu verhindern, dass sich eine ungewöhnliche Situation zu einem systemweiten Ausfall entwickelt. In dem in **1** dargestellten Beispiel hat der Bediener die Möglichkeit, Lasten abzuschalten oder zusätzliche Kondensatorbänke bzw. flexible Drehstrom-Übertragungssysteme (sog. FACTS) zuzuschalten, um mehr Blindleistung einzuspeisen und das Spannungsprofil zu verbessern.

Darüber hinaus eignen sich Konturendarstellungen sehr gut zur Identifizierung überlasteter Netzkomponenten. Bleiben diese Überlastungen bestehen,

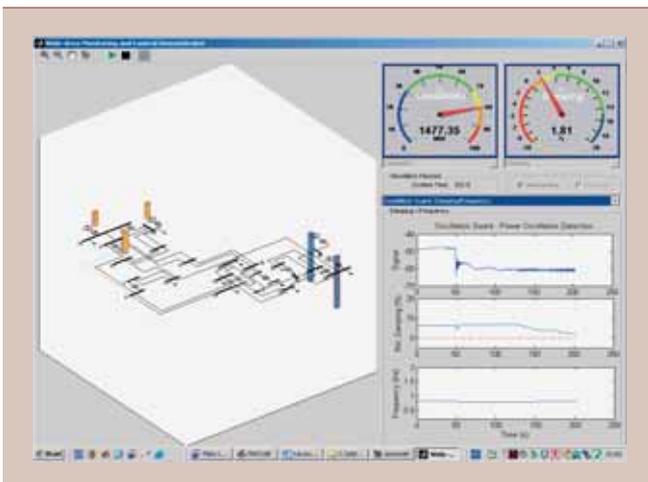
werden die meisten Betriebsmittel, die mit entsprechenden lokalen Schutzeinrichtungen ausgestattet sind, nach einer bestimmten Verzögerungszeit (mehrere zehn Minuten) abgeschaltet. Mit den richtigen Informationen können die Netzoperatoren Überlastungen rechtzeitig erkennen und entsprechende Korrekturmaßnahmen wie die Abschaltung von Lasten oder eine Neukonfiguration des Netzes treffen, bevor Leitungen durch den Überlastschutz getrennt werden, und somit die Ausbreitung von Störungen und Blackouts verhindern. **2** zeigt eine Beispieldarstellung, in der die Farbkontur die Belastung der Leitungen im Verhältnis zu ihrer Kapazität angibt. Anhand des roten Abschnitts lassen sich überlastete Leitungen schnell erkennen.

Visualisierung dynamischer Netzvorgänge

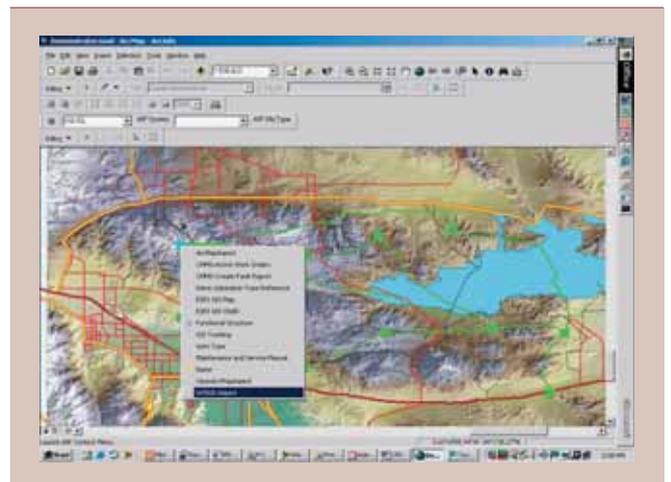
Neueste Vektormess- und Weitbereichsüberwachungssysteme (Wide-Area Monitoring Systems, WAMS) sind in der Lage, Messdaten mit einer Auflösung von 10-20 Messungen pro Sekunde zu erfassen. Dadurch können nicht nur langsame Phänomene wie Spannungs- und Lastentwicklungen, sondern auch schnellere, für die Stabilität des Netzes wichtige Phänomene wie pendelnde und transiente Vorgänge sowie Frequenzänderungen überwacht werden. Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung liefert ein WAMS jedoch riesige Datenmengen, die zunächst verarbeitet werden müssen, be-



3 3-D-Echtzeitvisualisierung der Frequenzdynamik, bei der die Generator-drehzahlen und Ergebnisse der Stabilitätsüberwachung von Pendelungen durch animierte Balken dargestellt werden



4 Echtzeitvisualisierung eines Stromnetzes mit einer darübergelegten schattierten GIS-Reliefkarte und einer Straßennetzkarte



vor sie dem Bediener zur Verfügung gestellt werden können.

Vektormessdaten können ebenfalls auf verschiedene Arten automatisch analysiert werden. Bei der Überwachung der Spannungsstabilität werden an beiden Enden einer kritischen Leitung oder eines Korridors Messungen vorgenommen. Dann wird in einem Ersatzmodell des Korridors die Spannungsstabilität des Systems 10- bis 20-mal pro Sekunde beurteilt. Das Ergebnis wird mithilfe der rechts unten in **1** dargestellten Leistungs-Spannungskennlinie visualisiert. Der aktuelle Betriebspunkt ist mit einem roten Stern gekennzeichnet, und die maximale Belastbarkeit entspricht dem äußersten rechten Punkt der blauen Kurve. Die Anzeige „Loadability“ zeigt außerdem, dass die aktuelle Belastung bei 92 % des theoretischen Maximums liegt.

Zur Überwachung der Dämpfung von Leistungspendelungen werden Online-Schätzungen aus einem dynamischen Ersatzmodell des Systems verwendet, das auf Vektormessdaten basiert. Das Modell kann verwendet werden, um die Stabilität von Schwingungen zwischen Netzbereichen zu beurteilen, die im Zuge der Zusammenschaltung von Netzen zu großflächigen Verbundnetzen immer häufiger auftreten. Die Dämpfung wird mithilfe der Anzeige oben rechts in **2** dargestellt. **3** zeigt eine Situation mit einer 1,8%igen Dämpfung der vorherrschenden Schwingung. Eine negative Dämpfung würde auf eine instabile Situation hindeuten, die zu einem Netzzusammenbruch führen kann. Wünschenswert ist typischerweise eine Dämpfung von mindestens 6–7 %. Bei einer solchen niedrigen Dämpfung wie der hier gezeigten muss der Bediener alarmiert werden, damit entsprechende Korrekturmaßnahmen getroffen werden können.

Zusätzlich zeigt **3** eine dreidimensionale Darstellung der Frequenzdynamik. Die im Schaltbild nach unten gerichteten Balken in kalten Farbtönen (von violett bis grün) weisen auf Sammelschienen oder Generatoren hin, bei denen die gemessene Frequenz unter dem gewichteten Durchschnitt des Netzes liegt. Die nach oben gerichteten Balken in warmen Farbtönen (von grün bis rot) weisen auf Bereiche hin,

in denen die gemessene Frequenz über dem gewichteten Durchschnitt liegt. Die Abbildung zeigt deutlich, dass die beiden Generatoren am einen Ende des Systems zusammen gegen die Gruppe aus drei Generatoren am anderen Ende schwingen. In diesem Fall ist die Pendelung kurz davor, instabil zu werden – dies wird durch die niedrige Dämpfung in der Anzeige oben rechts bestätigt.

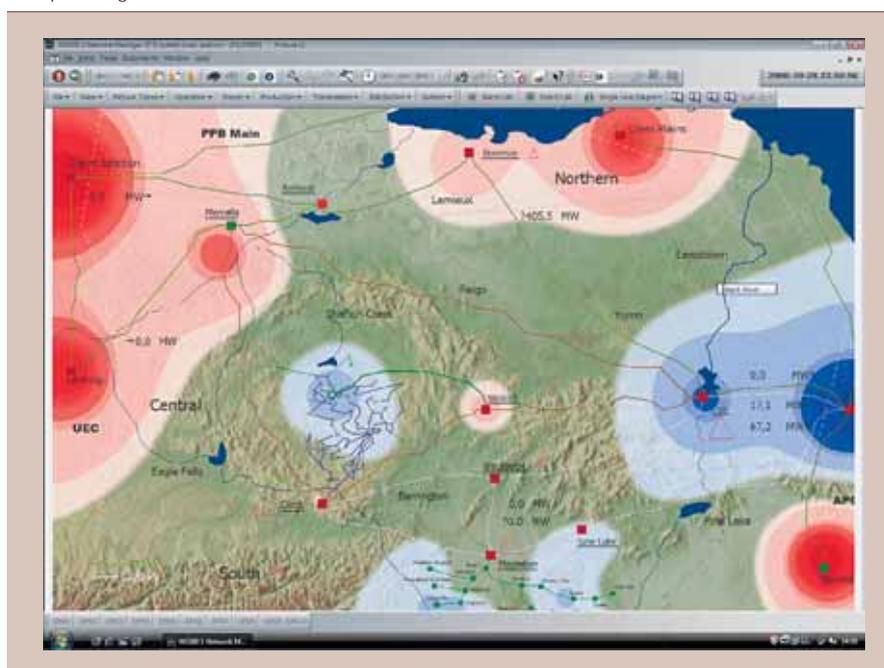
Die Rolle von GIS

Geografische Informationssysteme (Geographic Information Systems, GIS) ermöglichen eine erweiterte Darstellung von Stromnetzen durch die Verknüpfung von Informationen über die Betriebsmittel im Netz mit räumlichen Daten. Da sie eine große Bandbreite an Visualisierungsmöglichkeiten wie Konturendarstellungen und Animationen unterstützen, stellen sie eine interessante Plattform für die Darstellung von Echtzeit-Netzdaten mit geografischem Bezug wie die oben beschriebenen Spannungs- und Leitungsbelastungskonturen dar. GIS-Informationen werden in geografischen Kartenebenen gespeichert. Damit lassen sich die Zustände in einem Übertragungsnetz relativ einfach mit anderen relevanten Informationen wie Wetter, Vegetations-

wachstum und Straßennetzen verknüpfen. In das GIS integrierte Echtzeit-Wetterdaten erhöhen das Situationsbewusstsein des Bedieners. Mithilfe eines solchen Systems können bei Herannahen einer Schlechtwetterfront zum Beispiel schnell die Netzeinrichtungen mit erhöhtem Ausfallrisiko bestimmt werden. In Verbindung mit SCADA/EMS²⁾-Daten kann der Bediener dann eine Lastverteilung vornehmen, um das System vor möglichen sich ausbreitenden Störungen zu schützen. GIS-Vegetationskarten können mit Echtzeit-Lastinformationen verknüpft werden, um Leitungen mit einem erhöhten Risiko von Funkenschlag und Störungen aufgrund von Leitungsdurchhang zu identifizieren. Diese Leitungen können dann als Kandidaten für die EMS-Störfallanalyse herangezogen werden. Zeigt die GIS-Vegetationskarte hingegen nur geringfügiges Wachstum, kann auch durch einen Korridor mit Einschränkungen hinsichtlich des Leitungsdurchhangs mehr Leistung geschickt werden.

Auch nachdem es zu einer Störung gekommen ist, können GIS-Daten den Operateuren wertvolle Unterstützung bieten. So können die Informationen von Geräten zur Fehlerlokalisierung in

- 5** Die Dynamic Contour Coloring Funktion des ABB Network Managers zeigt Abweichungen von nominellen Spannungspegeln – rote Flächen stehen für hohe, blaue Flächen für niedrige Spannungen.



Kapitalproduktivität

den Übertragungsleitungen in geographische Koordinaten umgewandelt werden, um die betroffenen Leitungsabschnitte zu ermitteln. Zusammen mit GIS-Daten zum Gelände, der Vegetation, dem Straßennetz und der Witterung lässt sich schnell die zur Reparatur erforderliche Zeit schätzen. Die Reparaturzeit spielt wiederum eine wichtige Rolle bei der Entscheidung, ob sich das (kostspielige) An-/Abfahren einer Erzeugungseinheit lohnt. Nach großen Stürmen helfen GIS-Karten, auf denen die relativen Positionen von Reparaturmannschaften und Teams zur Baumbeseitigung dargestellt sind, den Netzoperatoren dabei, die Teile des Netzes zu bestimmen, die rasch wiederhergestellt werden können, um die Ausfallzeit für den Verbraucher möglichst kurz zu halten.

Die GIS-Daten können den Operateuren über eine anwendungsübergreifende Navigation mit SCADA/EMS-Systemen bereitgestellt werden. 4 zeigt eine GIS-Schnittstelle mit der Darstellung des Netzes, die mit einer geographischen Karte und einer Straßenkarte überlagert ist. Wird in einer Unterstation ein Alarm ausgelöst, wechselt das entsprechende Objekt in der Darstellung seine Farbe und beginnt zu blinken. In diesem Fall kann der Bediener mit der rechten Maustaste auf das GIS-Objekt klicken und aus dem Kontextmenü die ABB Network Manager WS500-Schnittstelle für diese Untersta-

tion aufrufen. Dort stellt er z. B. fest, dass der Alarm auf einen fehlerhaften Leistungsschalter hinweist, worauf er den Alarm quittiert und einen Wartungsauftrag ausgibt. Dann klickt er mit der rechten Maustaste auf den Leistungsschalter und kehrt zur GIS-Schnittstelle zurück, um sich kurz das Straßennetz um die Unterstation herum anzusehen. Daraufhin kann er auf der Basis der neuen Bedingungen eine Umverteilung der Last auf andere Erzeugungs- und Übertragungseinrichtungen vornehmen.

Die geographischen Informationen des GIS-Systems können auch mit den Konturendarstellungen des elektrischen Zustands verknüpft werden. Ein entsprechender Bildschirmdruck des ABB Network Managers ist in 5 zu sehen. Hier wird eine aus einem GIS importierte Reliefkarte zusammen mit einem Netzplan angezeigt und das Spannungsprofil als Konturdarstellung darübergelegt.

Vom Labor in die SCADA-Systeme von ABB

Die Visualisierung von dynamischen Netzvorgängen ist noch immer ein wichtiger Forschungsbereich, der neue Visualisierungstechniken für ein besseres Situationsbewusstsein beim Betrieb von Stromnetzen hervorbringen wird. Gleichzeitig finden neue Verfahren den Weg aus den Forschungslaboren in die SCADA-Systeme von ABB.

Der ABB Network Manager unterstützt nun eine Funktion zur Darstellung von dynamischen Farbkonturen (Dynamic Contour Coloring). Die in 6 dargestellte WS500-Bedienstation zeigt eine skalierbare Weltkarte mit einer geographischen Prozessübersicht. Die Ebene mit dynamischer Konturfärbung ist halbtransparent und kann wie in dieser Abbildung auf eine GIS-Kartenebene gelegt werden, die von einem webbasierten GIS-Kartenserver bezogen wird. Über die GIS-Karte und die Konturendarstellung werden Echtzeitinformationen gelegt. Über die Aspect Object-basierte Navigation kann dann zum Beispiel auf Asset- und Wartungsmanagementsysteme zugegriffen werden.

Mats Larsson

ABB Schweiz AG, Corporate Research
Dättwil, Schweiz
mats.larsson@ch.abb.com

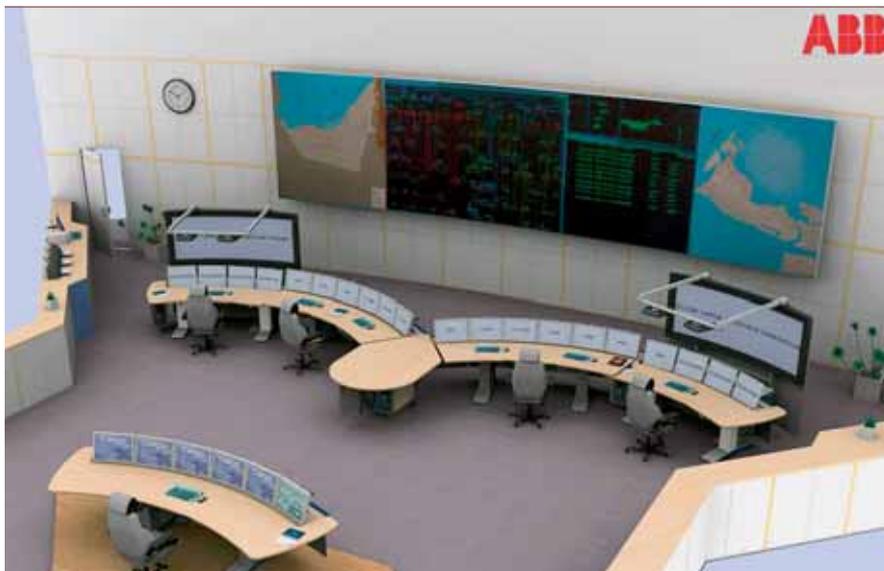
Reynaldo Nuqui

ABB Inc, Corporate Research
Raleigh, USA
reynaldo.nuqui@us.abb.com

Linda-Maria Johansson

Stefan Bengtzing
ABB Sweden AB
ABB Power Technologies
Network Management Västerås, Schweden
linda-maria.johansson@se.abb.com
stefan.k.bengtzing@se.abb.com

Modell einer ABB Network Manager Leitwarte



Fußnoten

- ¹⁾ Supervisory Control and Data Acquisition (ein umfangreiches System zur dezentralen Überwachung, Steuerung und Datenerfassung)
- ²⁾ Energiemanagementsystem (ein System aus computergestützten Tools zur Überwachung, Steuerung und Optimierung der Systemleistung)

Literaturhinweise

- [1] US-Canada Power System Outage Task Force: „Interim Report: Causes of the August 14th Blackout in the United States and Canada“, November 2003
- [2] D. A. Wiegmann, A. M. Rich, T. J. Overbye, Y. Sun: „Human Factors Aspects of Power System Voltage Visualizations“, Tagungsunterlagen der 35. International Conference on System Sciences, Hawaii, September 2002
- [3] M. Zima, M. Larsson, P. Korba, C. Rehtanz, G. Andersson: „Design Aspects for Wide-Area Monitoring and Control Systems“, Proceedings of the IEEE, Vol. 93, No. 5, (Mai 2005), S. 980-996

Der Antrieb zur Einfachheit

Neue Entwicklungen erhöhen die Benutzerfreundlichkeit von AC-Frequenzumrichtern
Ilpo Ruohonen, Mika Pääkkönen, Mikko S. Koskinen

ABB verfügt über eines der umfangreichsten Angebote an AC-Frequenzumrichtern für einen immer größer werdenden Anwendungsbereich. Angesichts der steigenden Anforderungen hinsichtlich Flexibilität, Zuverlässigkeit und Bedienerfreundlichkeit hat ABB eine Reihe von Lösungen entwickelt, die Kunden das Leben

einfacher und günstiger gestalten. Durch die Kombination einzelner Funktionen und die Reduzierung der Anzahl von Einzelteilen ist es ABB gelungen, die Größe ihrer Frequenzumrichter zu verringern und gleichzeitig ihre Zuverlässigkeit zu steigern. Zusätzlich wurde die Einrichtung mithilfe eines vereinheitlichten Bedienfelds

und Softwareassistenten vereinfacht, die mit der gesamten ABB-Frequenzumrichterfamilie kompatibel sind. Für kundenspezifische Anpassungen steht eine adaptive Programmierfunktion zur Verfügung, und mit der patentierten FlashDrop-Technologie lassen sich Parameter von einem Umrichter auf den anderen übertragen.



All diese Entwicklungen sind Teil der ständigen Bemühungen von ABB, erstklassige Technologie in äußerst leistungsfähigen und dennoch bedienerfreundlichen Systemen anzubieten.

Das traditionelle Haupteinsatzgebiet von Frequenzumrichtern sind Pumpen, Gebläse und Förderbänder. In diesen Bereichen werden sie zwar weiterhin eingesetzt, doch die Einstellung der Kunden gegenüber Antrieben hat sich in den letzten zehn Jahren stark gewandelt.

Frequenzumrichter vereinen mittlerweile eine hohe Funktionalität mit einfacher Bedienung und werden deshalb immer mehr als Produkt akzeptiert. Damit einher geht die Annahme, dass Antriebe auch einfach zu beschaffen, einzurichten, in Betrieb zu nehmen, zu betreiben und zu warten sind.

Gleichzeitig finden Antriebe den Weg in neue Anwendungen wie Heimtrainer, Pizzaöfen, Honigschleudern und Autowaschanlagen. Hier wird der Antrieb eindeutig als „Handelsware“ angesehen, und auch OEM-Hersteller (Original Equipment Manufacturer), die bisher kaum elektrische Antriebe verwendet

Benutzerfreundlichkeit

haben, verlangen heute ein Höchstmaß an Einfachheit. In einer Umfrage [1] unter Benutzern von Drehstromantrieben rangieren eine einfache Bedienung und Inbetriebnahme (70 %) sowie praktische Bedienerstellen (53 %) auf der Wunschliste ganz oben.

Miniaturisierung

Einfachheit und Benutzerfreundlichkeit manifestieren sich auf vielerlei Weise. Die Tatsache, dass elektrische Antriebe heute in Haushaltswaschmaschinen eingesetzt werden können, beweist wie kompakt sie geworden sind. Sie sind nicht nur um ein Vielfaches kleiner, sondern auch leistungsfähiger, benutzerfreundlicher und kostengünstiger geworden.

Kleinere Antriebe sind leichter zu installieren. So sind Schaltschrankbauer heute in der Lage, mehr Frequenzumrichter in einem Schrank unterzubringen, womit der gesamte Schaltschrank kleiner ausfallen kann. Dies wiederum ermöglicht den Bau kleinerer und kostengünstigerer Elektroräume. Außerdem wird es für OEM-Hersteller immer einfacher, ihre Geräte mit elektrischen Antrieben auszustatten. Ein klassisches Beispiel hierfür sind Krane, bei denen der verfügbare Platz für Antriebe von jeher begrenzt ist.

Der Grund für die Verkleinerung der Frequenzumrichter liegt in der Verwendung weniger Bauteile, einer höheren Packungsdichte, Fortschritten in der Halbleitertechnik und einer verbesserten Kühlung. Tatsächlich hat sich die Größe der Antriebe in den letzten 10 Jahren um den Faktor 10 reduziert.

Kostenreduktion

Ein weiterer Vorteil einer geringeren Teilezahl sind niedrigere Kosten. ABB erwartet, dass die Anzahl der Komponenten in ihren Antrieben durch den Einsatz integrierter Elektronik und den damit verbundenen Wegfall von separaten Komponenten wie externen Flash- und RAM-Speichern sowie Analog/Digital-Umwandlern in den nächsten Jahren um ca. 20 % abnehmen wird. Auch mechanische Komponenten werden zunehmend integriert, zum Beispiel indem Rahmen und Gehäuse so miteinander kombiniert werden, dass sie mehrere Aufgaben erfüllen.

Und zu guter Letzt steigt bei abnehmender Teilezahl die Zuverlässigkeit, da eine ganze Reihe von fehleranfälligen Schnittstellen und mechanischen Befestigungen wegfallen.

Verbesserte Kühlung

Eine weiterer bedeutender Faktor bei der Verbesserung von Antrieben sind die Fortschritte auf dem Gebiet der Leistungshalbleiter. Durch die Senkung der Leistungsverluste pro Quadratmillimeter Silizium ist die gleiche Fläche in der Lage, mehr Leistung zu bewältigen. Dies hat zu kleineren Leistungshalbleitern und einem geringeren Kühlbedarf innerhalb der Frequenzumrichter geführt, d. h. es können kleinere Kühlkörper und geringere Luftvolumen verwendet werden. Das Ergebnis sind immer kleinere Frequenzumrichter. Die einzige Beschränkung stellen die Anschlüsse dar, die aufgrund der hohen Stromstärken teilweise für große Kabelquerschnitte ausgelegt sein müssen.

Doch nicht nur die Weiterentwicklung von Leistungshalbleitern, sondern auch die Kühltechnik spielt eine wichtige Rolle bei der Miniaturisierung von Antrieben. Zurzeit wird sowohl bei der Entwicklung neuer Kühlverfahren als auch bei der Reduzierung des Kühlbedarfs umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet. Auch wenn die Luftkühlung in Zukunft weiterhin das vorherrschende Verfahren sein wird, kommt in Bereichen wie der Windkraft, dem Transportwesen und der Schifffahrt zunehmend die Flüssigkeitskühlung zum Einsatz. Ein Beispiel hierfür ist der kürzlich vorgestellte flüssigkeitsgekühlte Industrial Drive von ABB.

Erweiterte Funktionalität

Dank neuer Entwicklungen auf dem Gebiet der Software verfügen die kontinuierlich schrumpfenden Antriebe über eine immer umfangreichere Funktionalität. Die heutige Software überwacht, diagnostiziert, konfiguriert und archiviert Informationen und Parameter von Antrieben in ganzen Industrieanlagen. Einstellungen werden innerhalb der Software vorgenommen und dann auf die entsprechenden Geräte übertragen. Die Einstellungsdaten werden zwar zur späteren Wiederverwendung archiviert, doch um diese Technologie vollständig nutzen zu können, muss der Bediener noch immer auf das Handbuch zurückgreifen.

Aus diesem Grund strebt ABB die Entwicklung intelligenter Bedienfelder an, für die kaum noch gedruckte Handbücher benötigt werden. Das Geheimnis besteht allerdings darin, eine einfache

1 Das Bedienfeld für ABB Standard Drives ermöglicht die Einstellung aller Funktionen und Parameter mit nur acht Tasten.



2 Die neue patentierte FlashDrop-Technologie rationalisiert die Konfiguration von Antrieben.



Methode zu finden, die den Zugriff auf diese Art von Funktionalität ermöglicht. Hier kommt das Bedienfeld **3** ins Spiel.

Das ideale Bedienfeld

Das F&E-Team von ABB hat sämtliche Aspekte der Interaktion von Benutzern mit Antrieben untersucht und daraus das wahrscheinlich benutzerfreundlichste Bedienfeld aller Zeiten entwickelt. Das Bedienfeld für den ABB Standard Drive besitzt nur acht Tasten, mit denen alle Parameter, Funktionen und Einstellungen aufgerufen werden können. Selbst die Tasten wurden sorgsam ausgewählt, um sicherzustellen, dass sie dem Benutzer genau den richtigen Widerstand entgegenbringen, um ihm ein Gefühl von Stabilität und präzisen Ansprechen zu geben.

Zur Entwicklung des Bedienfelds wurden elf Leitprinzipien zur Benutzerfreundlichkeit zusammengestellt, die sämtliche Aspekte von Sichtbarkeit und Lesbarkeit, Text und Terminologie sowie der verwendeten Symbole umfassen. Auf der Basis dieser Prinzipien ist ABB nun dabei, die Bedienfelder aller Antriebe zu harmonisieren. Ein einheitliches Erscheinungsbild und eine einheitliche Bedienung ermöglichen es dem Benutzer, ohne einen zeitraubenden Lernprozess zwischen verschiedenen ABB-Produkten hin- und herzuwechseln.

Der wahre Wert des Bedienfelds

Doch die Vorteile sind nicht nur ästhetischer Natur. Das neue Bedienfeld mit seinen intuitiven Befehlen bietet dem Kunden auch finanzielle Vorteile. Eine

wichtige Voraussetzung für die Investition in neue Ausrüstung ist meistens eine rasche Installation, damit die Produktion schnell und reibungslos anlaufen kann. Wichtig ist hierbei die Geschwindigkeit, mit der eine Maschine nach der Installation der neuen Ausrüstung bzw. nach einem Wartungsstopp ihren Betrieb wieder aufnehmen kann. Da der Ausfall einer Maschine den Betreiber bis zu 20.000 Dollar in der Stunde kosten kann, hat eine einfache Einrichtung und Inbetriebnahme eine hohe Priorität. Unter Zeitdruck erhöht sich jedoch die Gefahr von Fehlern bei der Installation und Inbetriebnahme. Dies kann verhindert werden, indem der Umfang der manuellen Eingriffe so weit wie möglich reduziert wird. Hierbei spielt das Bedienfeld eine zentrale Rolle.

Die oben genannten Leitprinzipien und die Tatsache, dass das Bedienfeld nur acht Tasten besitzt, machen eine intuitive Bedienung erforderlich. ABB hat hierzu eine Reihe von Assistenten entwickelt, die den Benutzer durch verschiedene Prozeduren führen. Es gibt „Wartungsassistenten“, „Diagnoseassistenten“ und den häufig verwendeten „Inbetriebnahmeassistenten“.

Hilfreiche Assistenten

Mit dem Inbetriebnahmeassistenten bietet ABB ein Tool, das den Benutzer mithilfe von Fragen in Klartextform sicher durch die Parametrierung und Inbetriebnahme führt. Es gibt keine komplexen numerischen Parameter oder Codes, und die Intelligenz des Produkts unterstützt den Benutzer

durch den gesamten Inbetriebnahmeprozess hindurch.

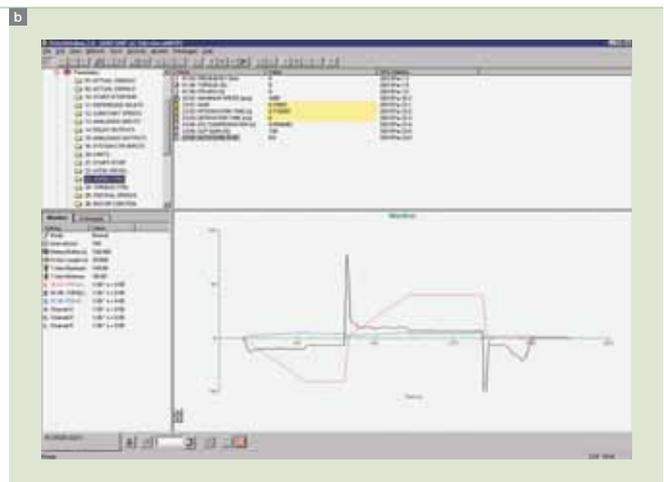
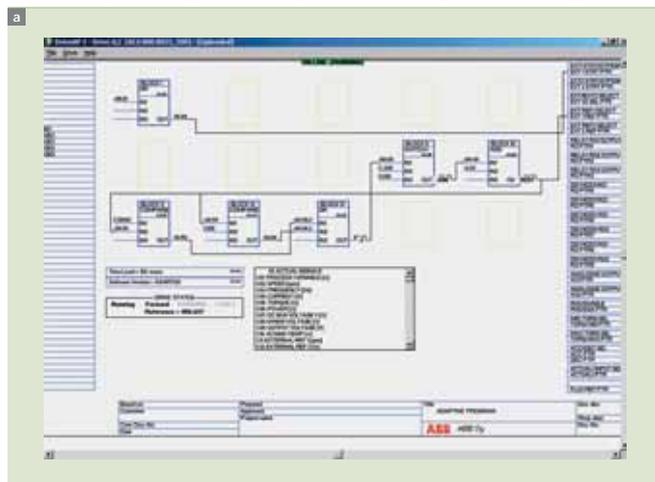
Mithilfe eines einfach zu verwendenden Inbetriebnahmesystems wie diesem Assistenten von ABB lässt sich die Inbetriebnahmezeit pro Antrieb um bis zu 15 Minuten verkürzen. Für einen OEM-Hersteller, der pro Jahr vielleicht 4.000 Drehstromantriebe kauft, bedeutet dies ein erhebliches Einsparungspotenzial. Und für einen Techniker mit einem jährlichen Arbeitspensum von 2.000 Stunden kann dies einer Zeiterparnis von 50 % entsprechen.

Spezielle MMS

Ein weiteres Tool, das OEM-Herstellern das Leben erleichtert, ist FlashDrop, eine tragbare Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS), mit der Antriebsparameter innerhalb von Sekunden installiert werden können. Das Gerät ist in Verbindung mit bestimmten ABB-Antrieben erhältlich und kann verwendet werden, um Parameter auszuwählen und einzustellen, und um Konfigurationen von einem Antrieb auf den anderen zu kopieren, ohne dass dieser eingeschaltet werden muss **2**.

FlashDrop ist eine patentierte neue Technologie von ABB, die den Konfigurationsprozess rationalisiert, indem sie die Übertragung eines Parametersatzes in nur zwei Sekunden ermöglicht. Zur Bedienung von FlashDrop sind keine besonderen Kenntnisse erforderlich, und Benutzer von ABB-Antrieben sind mit der Bedienoberfläche bereits vertraut.

3 Die adaptive Programmierung von ABB ermöglicht die Konfiguration von Antriebsfunktionen auf der Basis vordefinierter Bausteine.



Benutzerfreundlichkeit

Neben der zweifellos wichtigen MMS hat sich ABB auch mit der Frage befasst, wie sich Kundenanwendungen mit der nun im Antrieb enthaltenen Funktionalität vereinfachen lassen. Eine bedeutende Triebfeder ist hierbei das Interesse des Kunden an den Gesamtbetriebskosten, zu denen auch Inbetriebnahme, Austausch und Wartung gehören.

Anwendungsspezifische Lösungen

Durch die Verwendung von anwendungsspezifischen Antriebslösungen haben die Benutzer von Antrieben jetzt die Möglichkeit, ihre Kosten noch weiter zu senken. Diese Antriebe beinhalten speziell zugeschnittene Funktionen, die bestimmte Anwendungen wie die Regelung von Lüftern, Pumpen, Mischern oder Kranen unterstützen und durch kürzere Inbetriebnahmezeiten, niedrigere Integrationskosten und eine höhere Maschinenproduktivität zur Senkung der Gesamtbetriebskosten beitragen.

Ein Beispiel hierfür ist die neue Pumpenregelungssoftware Intelligent Pump Control (IPC) von ABB, mit der auf eine externe SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) verzichtet werden kann. IPC ermöglicht einen energiesparenden Pumpenbetrieb und hilft dabei, Ausfallzeiten zu minimieren und das Verstopfen von Pumpen und Rohrleitungen zu verhindern.

IPC ist ein Software-Add-on für Industrial Drives von ABB. Es enthält sechs Pumpenregelungsfunktionen, die alle gängigen Bedürfnisse von Wasserwerken, Entsorgungsanlagen, Industrieanlagen und anderen Einatzbereichen von Pumpen abdecken.

Ebenfalls in der Software enthalten ist die adaptive Programmierung , mit der die Antriebe für kundenspezifische Anwendungen angepasst werden können. Diese besteht aus einer Reihe von einfach zu verwendenden Bausteinen, die mithilfe vordefinierter Funktionen beliebig programmiert werden können. Dazu stehen alle gängigen mathematischen und logischen Funktionen sowie Schalter, Komparatoren, Filter und Timer zur Verfügung. Die adaptive Programmierung von ABB bietet dem Benutzer die Leistungsfähigkeit einer kleinen, im Frequenzrichter integrierten SPS.

Eine weitere bahnbrechende Neuerung ist, dass die Programmierung über das Standard-Bedienfeld durchgeführt werden kann und keine spezielle Hardware oder Programmierungssoftware erforderlich ist. So nimmt die Programmierung nur einige Minuten in Anspruch und kann während der Inbetriebnahme vor Ort erfolgen.

Technologie auf der Höhe der Zeit

Selbst bewährte Technologie entwickelt sich weiter. Seit der Einführung der revolutionären ABB-Motorregelungsplattform Direct Torque Control (DTC) sind elf Jahre vergangen. Mittlerweile wurden die Algorithmen optimiert, um die Standard-Drehstromantriebstechnik in den Servobereich zu übertragen. Das Ergebnis ist der ABB Machinery Drive.

Dieser Antrieb basiert auf herkömmlicher Drehstromantriebstechnik, doch durch die Erweiterung der DTC um ein Motormodell für Servomotoren und den Einsatz sehr schneller Drehmomentregelschleifen innerhalb der DTC (sowie einigen anderen intelligenten Designanpassungen) erreicht der Machinery Drive nun die Leistungsfähigkeit eines Servoantriebs. Die Regelung von Synchron- und Asynchronmotoren kann mit oder ohne Rückführung erfolgen. Je nach Anwendung benötigen Maschinenbauer für eine Vielzahl von Motortypen jetzt nur noch einen Antrieb sowie ein entsprechendes Gebersystem.

Drei Module

Trotz ihrer Bedeutung sind die oben beschriebenen Entwicklungen aber nur die halbe Wahrheit. Der ABB Machinery Drive bietet noch ein weiteres einmaliges Merkmal, das unmittelbar auf die Bedürfnisse von OEM-Herstellern abzielt: drei Plug-in-Module, die das Herz und das Gehirn des Antriebs enthalten. Auf der Hardwareseite gibt es ein Leistungsteil und eine Regelungseinheit, während die Memory Unit (Speichereinheit) eine einfache Programmierung des Frequenzrichters und integrierte SPS-Routinen ermöglicht, die OEM-Hersteller evtl. für ihre eigenen Anwendungen benötigen. Die besondere Verwendung der Module ermöglicht eine kürzere Inbetriebnahmezeit, den Verzicht auf externe Wartungstechniker und die Minimierung unvorhergesehener Produktionsstillstände.

Dank der Aufteilung in einzelne Einheiten können sowohl das Leistungsteil als auch die Regelungseinheit vor der Memory Unit verschickt und installiert werden. Nach Abschluss der Installation kann die Speichereinheit, die direkt beim OEM-Hersteller mit speziellem Anwendungscode programmiert werden kann, ausgeliefert und vor Ort einfach in die Regelungseinheit gesteckt werden. Außerdem trägt der modulare Ansatz zur Reduzierung der Anzahl von Produktkomponenten und -varianten bei.

Da keine Vor-Ort-Programmierung erforderlich ist und keine Kommunikationskabel an PCs angeschlossen werden müssen, können bei der Inbetriebnahme zwischen einer und mehreren Stunden eingespart werden. Und da keine Programmierungsexperten benötigt werden, entfällt der beträchtliche Aufwand, der mit der Entsendung von Inbetriebnahmeingenieuren in alle Welt zur Feinabstimmung einzelner Geräte verbunden ist.

Die Zukunft

Frequenzrichter werden immer kleiner und intelligenter, lassen sich immer leichter installieren und bedienen, verfügen über immer bessere Kommunikationsmöglichkeiten und eignen sich für immer mehr Anwendungen – besonders im unteren Leistungsbereich. Und all das bei ständig sinkenden Preisen – was können sich Benutzer von Antrieben noch wünschen?

Ilpo Ruohonen

Mika Pääkkönen

Mikko S. Koskinen

ABB Oy, Drives

Helsinki, Finland

ilpo.ruohonen@fi.abb.com

mika.paakkonen@fi.abb.com

mikko.s.koskinen@fi.abb.com

Literaturhinweis

[1] **Bartos, F.:** „AC variable speed drives trend to efficient, modular designs“, Control Engineering (Europe), 1.2.2004

Intelligente Umgebungen

Vernetzte Gebäudetechnik stellt den Menschen in den Mittelpunkt

Nils Leffler

Die Integration des *Menschen im System* zeigt sich auch in Wohnräumen und Büros. In zunehmendem Maß wird die Technik dazu verwendet, dem Menschen Komfort, Unterhaltung und Sicherheit zu bieten und um seine Produktivität zu steigern. Bei der Arbeit nutzen wir moderne Computertechnik für eine Vielzahl von Diensten – angefangen von E-Mail bis hin zu elektronischen Buchungssystemen für Räume und Ausrüstungen. Solche Dienste müssen in einem integrierten Netzwerk effizient funktionieren, damit Benutzer an verschiedenen Standorten miteinander kommunizieren und auf zentrale Ressourcen zugreifen können. Und zuhause möchte man nicht erst komplizierte Bedienungsanleitungen lesen, bevor man seine Lieblingssendung aufzeichnen kann. Benutzerfreundlichkeit gehört zu den wichtigsten Anforderungen beim Design intelligenter Geräte ebenso wie Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und ein erschwinglicher Preis. Neue Technologien in unseren Wohnungen und Büros schaffen intelligente Umgebungen, bei denen der Mensch klar im Mittelpunkt steht.



Benutzerfreundlichkeit

Umgebungsintelligenz (Ambient Intelligence) bezeichnet eine neue Technologie, die dafür sorgt, dass unsere alltägliche Umgebung in zunehmendem Maße auf unsere Anwesenheit reagiert. Laut eines kürzlich veröffentlichten Buchs [1] werden sich unsere Wohnräume und Büros immer mehr in „intelligente“ Umgebungen verwandeln. Die Voraussetzung für die Realisierung dieser Vision ist, dass die entsprechende Technologie unsichtbar in unser tägliches Umfeld eingebettet wird und immer dann zur

Verfügung steht, wenn wir sie benötigen. Beleuchtung, Audio, Video und Haushaltsgeräte werden nahtlos integriert, um unser Leben angenehmer zu gestalten. Das Ein- und Ausschalten der Beleuchtung oder das Öffnen und Schließen von Jalousien erfolgt durch verschiedene Impulse, zum Beispiel durch menschliche Aktivität innerhalb eines Raumes. Diese Art der Automatisierung steigert nicht nur den Komfort und die Produktivität, sondern senkt auch den Energieverbrauch. Außerdem wird die Kommunikation verbessert und die Sicherheit erhöht.

1 Controlpanel mit Hausübersicht



2 Schalter mit Bewegungssensor



3 Controlpanel im Profil



Im Zuge des aktuellen Trends in Richtung benutzerfreundlicher, intelligenter Technologien hat das ABB-Tochterunternehmen Busch-Jaeger Elektro GmbH eine Reihe einfach zu programmierender Touchscreen-Controlpanels **1** in Verbindung mit einer Reihe von bewegungsempfindlichen Schaltern **2** und Alarminheiten unter dem Namen „Smart&Lean“ auf den Markt gebracht. Diese Produkte können in Netzwerke integriert werden und ermöglichen die Steuerung aller Funktionen von Musik und Beleuchtung bis hin zu Gegensprechanlagen und Alarmsystemen. Die Schalter überwachen mithilfe von Infrarot-Bewegungssensoren die Aktivität innerhalb eines Raumes und verfügen über verschiedene programmierbare Betriebsarten, mit denen sie an die jeweiligen Anforderungen ihres Einsatzbereichs angepasst werden können. Diese reichen von vollautomatisch (der Schalter wird durch Bewegung aktiviert und nach einer vorprogrammierten Zeitdauer wieder deaktiviert) bis vollständig manuell (der Schalter verhält sich wie ein herkömmlicher manueller Schalter, verfügt allerdings über eine kleine LED, damit er im Dunkeln leichter zu finden ist). Neben der Beleuchtungssteuerung können auch Heizungs- und Klimafunktionen integriert werden, wobei einzelne Thermostateinstellungen über das zentrale Controlpanel vorgegeben werden können. Der Schlüssel zum Erfolg dieser Geräte liegt in ihrer einfachen Bedienung verbunden mit einem eleganten Design **3** und einer langen Lebensdauer.

Eine Steuerung der Beleuchtungseinstellungen ist aus verschiedenen

Gründen nützlich. Sie hilft nicht nur, die richtige Atmosphäre für eine Dinnerparty zu erzeugen, sondern ermöglicht durch zeitverzögertes Ausschalten des Lichts in Fluren und anderen öffentlichen Bereichen auch eine Senkung des Stromverbrauchs. Zusätzlich lässt sich mit bewegungsempfindlichen Schaltern in dunklen Treppenhäusern die Unfallgefahr senken. Welcher Zweck auch im Vordergrund steht, wichtig ist, dass mehr als eine Einstellung zur Verfügung steht und die Programmierung schnell und einfach erfolgt. Ein Lesezimmer und ein Wohnzimmer haben sehr unterschiedliche Beleuchtungsanforderungen. Doch was ist, wenn der Bewohner im Wohnzimmer lesen möchte? Das Umschalten von einer Einstellung zur anderen sollte mit einem Knopfdruck möglich sein.

Mit der Integration einer Musikanlage in eine solche Steuerung ließe sich die gewünschte Atmosphäre im Raum noch perfekter herstellen, und durch die Integration von Serviceprotokollen mit Wartungsplänen und Daten für den Austausch einzelner Komponenten könnte die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit vieler Gebäude gesteigert werden.

Sicherheit

Für die meisten Menschen ist ihr Heim ein Zufluchtsort, an dem sie sich sicher fühlen. Da die Sicherheit leider nicht überall gegeben ist, steigt die Nachfrage nach Sicherheitssystemen für Eigenheime. Die Integration von Sicherheitsfunktionen in eine intelligente Umgebung – zusätzlich zu den Einstellungen für die Raumatmosphäre – bietet Hauseigentümern beträchtliche Vorteile. Solche Funktionen sind zunehmend auf dem Markt erhältlich. Dazu gehören neben den gängigen Alarm- und Audiofunktionen Warnungen wie „Tür nicht abgeschlossen“ oder „Fenster offen“ und Alarmer für Bewegungssensoren **4**. Eine etwas fortschrittlichere Funktion bietet die Möglichkeit, die Beleuchtungs- und Jalousieneinstellungen im Laufe einer normalen Woche aufzuzeichnen und bei längerer Abwesenheit wieder „abzuspielen“. Durch diese „simulierte Anwesenheit“ wirkt das Haus weiterhin bewohnt, sodass die Bewohner ihre Abwesenheit beruhigt genießen

4 Alarmeinheit mit Bewegungssensor



einen Erfassungsbereich von 170 °, d. h. ihm entgeht so gut wie nichts. Zur bequemen Integration in jede Kreuzschaltung sind die Schalter mit Zweidrahttechnologie und einem Nebenstelleneingang ausgestattet. Das System ist eigensicher und kann mit minimaler Störung bestehender Dienste installiert werden.

Fazit

Die Vision vom intelligenten Gebäude wird langsam Realität, doch sein Erfolg hängt von der Entwicklung einfach zu bedienender Systeme ab. ABB Busch-Jaeger hat sich dieser Herausforderung gestellt und mit der Smart&Lean-Serie eine Reihe von Geräten auf den Markt gebracht, die zur nahtlosen Steuerung von Beleuchtung, Jalousien, Raumtemperatur, Alarmsystemen und Gegensprechanlagen miteinander vernetzt werden können. Eingebettete Sensoren registrieren Temperatur, Lichtverhältnisse, Windgeschwindigkeit und menschliche Aktivität und lösen damit akustische/visuelle Alarmer oder mechanische Reaktionen aus. Das Netzwerk basiert auf dem ABB i-bus EIB, der die Integration von Umweltsteuerungs-, Unterhaltungs- und Sicherheitssystemen und anderen Funktionen ermöglicht. Die Konfiguration erfolgt über ein bedienerfreundliches, ergonomisch gestaltetes Touchscreen-Controlpanel mit einer Reihe von gut lesbaren Bildschirmen.

Das System arbeitet nach dem Prinzip, dass die Technik dem Menschen dienen sollte und nicht umgekehrt. Unter dieser Prämisse wird sich die „Umgebungsintelligenz“ unauffällig in Wohnungen und Büros ausbreiten und den Menschen von mühsamen Aufgaben befreien, aber ihm weiterhin die Gesamtverantwortung überlassen.

Nils Leffler
ABB Review
Dättwil, Schweiz
nils.leffler@ch.abb.com

Literaturhinweis

[1] E. Aarts, J. Ecaracao: „True Visions“, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006

5 Controlpanel mit Auswahl eines einzelnen Raums



können. Der Einsatz von Videotechnik bietet ein zusätzliches Maß an Sicherheit und ermöglicht sogar eine Überwachung aus der Ferne.

Energieeffizienz in der Zukunft

Angesichts des steigenden Strombedarfs wird die Versorgung zu Spitzenlastzeiten immer schwieriger. Um Ausfälle infolge eines hohen Bedarfs bei begrenzter Versorgung zu verhindern, bieten viele Stromversorger vergünstigte Tarife außerhalb der Spitzenlastzeiten an. Durch die Integration dieser Informationen in die Steuerungssysteme für Wohnräume und Büros lassen sich erhebliche Einsparungen erzielen. In größerem Maßstab soll es mit zukünftigen Steuerungssystemen möglich sein, Funktionen so zu priorisieren, dass bei einer drohenden Überlastung des Netzes nicht zwingend notwendige Dienste reduziert oder unterbrochen werden können. Dazu muss jedes ein-

zelne Gerät ferngesteuert und Geräte mit niedriger Priorität von wichtigeren Einrichtungen wie Alarmsystemen, Computern oder Gefrierschränken unterschieden werden können. Danach können die Stromversorger entsprechende Betriebspläne für jede Geräteebene definieren und die Lasten bei Bedarf abschalten. Als Rückgrat für diese energieeffiziente Nutzung soll derselbe Informationsbus dienen, der für die oben beschriebene Integration verwendet wird.

Technologie von ABB Busch-Jaeger

Das Herzstück des Systems von Busch-Jaeger bildet ein vollständig grafisches LCD-Controlpanel 1. Über das Touchscreen-Controlpanel können bis zu 100 Schalt- und Steuerungsfunktionen über Übersichts- und Unterbildschirme angezeigt und bedient werden. Die Bildschirme sind jeweils einzelnen Räumen oder Bereichen zugeordnet 5 und können entsprechend den individuellen Bedürfnissen des jeweiligen Benutzers konfiguriert werden.

Das System basiert auf dem ABB i-bus EIB Informationsbus. Die Programmierung und Inbetriebnahme erfolgt vorzugsweise mithilfe einer Multimedia-/SD-(Secure Digital)Karte, Modifikationen können aber auch über den EIB-Bus und eine einfache EIB-Schnittstelle am PC (RS 232 oder USB) vorgenommen werden.

Der Infrarot-Bewegungssensor in jedem Komfortschalter von Busch-Jaeger hat

Raum für Verbesserungen

Identifizierung von Verbesserungspotenzialen in der Prozessindustrie

Andreas Kroll, Frank Simon, Gordon Cheever, Tomi Pilbacka, David Stanier



Die Betreiber von prozesstechnischen Anlagen sehen sich mit ständig steigenden Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs konfrontiert. Ein erster Schritt zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit besteht darin, die Leistungsfähigkeit des eigenen Betriebs im Vergleich zu den Besten zu bestimmen. Zwar ist jeder Betrieb ein Unikat, doch es gibt anerkannte Kennzahlen für eine vergleichende Bewertung.

Wenn Verbesserungsprojekte initiiert werden, besteht eine wichtige Herausforderung darin, die Ansatzpunkte mit dem größtmöglichen Verbesserungspotenzial zu finden. Eine mögliche Vorgehensweise zur Auswahl von Projekten besteht darin, auf der Grundlage eigener Erfahrung einen Bereich festzulegen und eine erste Untersuchung durchzuführen. Daraufhin folgt meistens eine fokussierte technisch-wirtschaftliche Analyse zur Abschätzung des Verbesserungspotenzials. Dabei wird häufig eine Basis-Performance festgelegt, die als Referenz für die Wirkung von Verbesserungsmaßnahmen dient.

In diesem Beitrag wird als alternatives Vorgehen ein vergleichsweise breit angelegtes Screening des Gesamtsystems auf Verbesserungspotenziale vorgestellt¹⁾. Bei dieser Methodik ist der Suchbereich funktional eingegrenzt auf die im Folgenden als „I&C“ (Instrumentation & Control) zusammengefassten Gebiete:

- Prozessnahe Automatisierungs- und Informationssysteme
- Instrumentierung & Analytik sowie
- Antriebstechnik

Das neu entwickelte EDV-unterstützte systematische Vorgehensmodell ermöglicht es, eine Anlage innerhalb weniger Tage zu bewerten. Dazu wird zunächst eine gesamtheitliche technische Bewertung der installierten

Systeme und Geräte durchgeführt. Dabei wird das wirtschaftliche Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Aspekte Durchsatzsteigerung und Kosteneinsparung abgeschätzt und die Performance der Anlage anschließend mit international führenden Anlagen verglichen.

Das Prinzip dieses Top-Down-Verfahrens besteht darin, wichtige Verbesserungspotenziale disziplin-, funktions- und komponentenübergreifend zu suchen. Typische Fragestellungen sind: Hat eine Senkung der Wartungskosten eine größere Auswirkung als die Implementierung eines gehobenen Regelungsverfahrens (Advanced Process Control, APC)? Würde eine bessere Unterstützung von Arbeitspunkt- und Produktwechseln einen größeren wirtschaftlichen Effekt haben?

Ein interdisziplinäres Team hat durch Kombination von Assessment- und Benchmarking-Methoden eine Vorgehensweise für ein schnelles Screening von I&C entwickelt. Die neue Methode, die nur eine kurze Vor-Ort-Phase von 2–3 Tagen erfordert, wurde in Pilotanwendungen in der Chemie- und Papierindustrie erfolgreich getestet.

Methodik

1 zeigt einen Überblick über die einzelnen Schritte der Vorgehensweise und die unterstützende Datenverarbeitung für die entwickelte Methodik.

Assessment und Benchmarking

Unter einem „Assessment“ wird (vereinfacht) die Prüfung verstanden, ob Gegenstände, Prozesse oder Dienstleistungen spezifizierten Anforderungen genügen. In diesem Beitrag bezeichnet der Begriff „Assessment“ die Bestimmung der Performance von Anlagen gemäß verschiedener vordefinierter Gütemaße. Ein wichtiger aber schwieriger Aspekt ist die Festlegung der Maximalwerte der Güteskalen – also der Festlegung, wann 100 % erreicht ist.

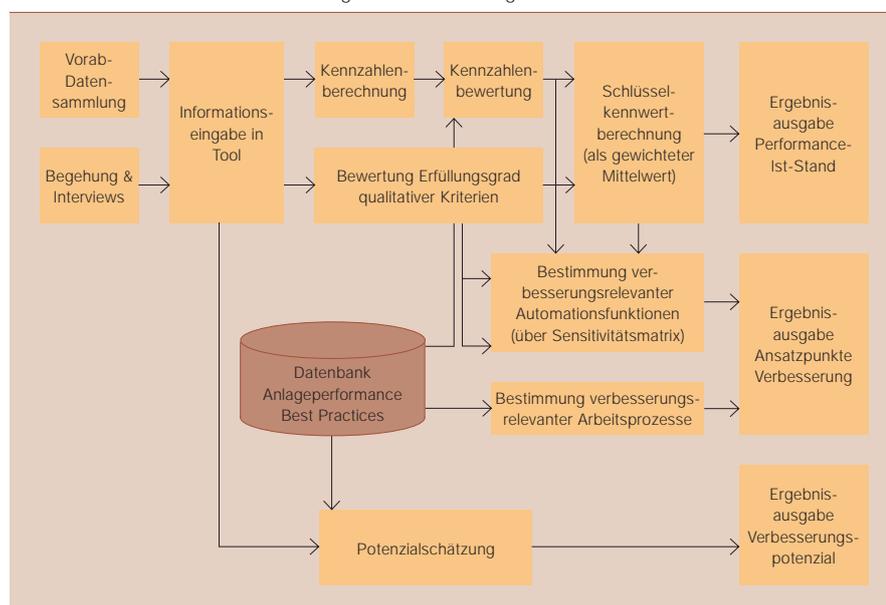
Unter dem Begriff „Benchmarking“ verstehen Ahmad und Benson [2] einen strukturierten Prozess, bei dem die Leistungsfähigkeit einer Anlage mit den weltweit besten ähnlichen Anlagen verglichen wird. Dabei besteht das vorrangige Ziel darin, etwas von den Besten zu lernen. Bei einigen Assessments werden sogar branchenübergreifende Vergleiche angestellt. In diesem Beitrag bezeichnet „Benchmarking“ den Vergleich der Performance einer Anlage mit anderen Anlagen mit dem Ziel einer vergleichenden Einordnung. Dabei zeigt sich auch, ob eine Anlage zu den besten 25 % einer bestimmten Auswahl gehört oder nur eine durchschnittliche Performance aufweist. Die Vergleiche können auf globaler oder regionaler Ebene, innerhalb einer Branche oder branchenübergreifend, oder auf der Basis anderer Kriterien durchgeführt werden.

Hierarchie aus Kennzahlen und Schlüsselkennwerten

Bei der technischen Bewertung wird die Prozessautomatisierung in umfassender Breite betrachtet. Dabei lassen sich die für eine detaillierte Analyse im Rahmen der anschließenden Engineeringstudie wichtigsten Punkte identifizieren. Das Spektrum der Assessments reicht von der Instrumentierung über die Leittechnik und gehobenen Regelungsverfahren bis zu Produktionsfeinplanungs- und Wartungsmanagementsystemen. Dabei werden die eingesetzte Technologie und deren Ausnutzung, relevante Arbeitsprozesse sowie Betriebs- und Instandhaltungskosten betrachtet.

Etwa 100 sowohl quantitative als auch qualitative Einzelkriterien wurden identifiziert. *Quantitative* Kriterien wurden als *Kennzahlen* (engl. perfor-

1 Schritte der Informationssammlung und -verarbeitung



Benutzerfreundlichkeit

mance indicators) definiert. Einige Beispiele sind in der **Infobox** dargestellt.

Dagegen sind die *qualitativen* Kriterien für verschiedene Performancestufen definiert. So lassen sich konsistente, reproduzierbare und vergleichbare Assessments erreichen. Sämtliche Kriterien werden zu 10 *Schlüsselkennwerten* (key performance indicators, KPI) zusammengefasst, anhand derer Teilbereiche mit Verbesserungspotenzialen identifiziert werden können:

1. I&C-Assetzustand
2. I&C-Lebenszyklus (Obsoleszenz)
3. Durchsatz
4. Qualität und Ausbeute
5. Flexibilität/Agilität
6. Umgebung, Sicherheit und Compliance
7. Instandhaltung
8. Betriebskosten
9. Personal
10. Operator-Unterstützung

Bewertung der Kennzahlen

Nachdem die Kennzahlen ermittelt wurden, müssen diese einzeln bewertet werden, um festzustellen, ob die Performance bereits als gut eingestuft werden kann oder ob größere Verbesserungspotenziale bestehen. Die Werteskalen der einzelnen Kennzahlen können zwar unterschiedlich sein, doch eine einheitliche Skala erleichtert die Interpretation und Zusammenfassung zu KPIs. Hierzu wurden vier Performancebereiche definiert:

- Weltklasse-Performance (Score = 4)
- Gute Performance (Score = 3)
- Performance im Übergangsbereich (Score = 2)
- Deutliche Verbesserungspotenziale (Score = 1)

Zur Festlegung der Bereichsgrenzen wurden eine ABB-Datenbank mit mehr als 300 Assessments, Ergebnisse aus Industriearbeitskreisen sowie öffentlich zugängliche Literatur berücksichtigt. Ebenfalls eingeflossen ist das Erfahrungswissen von ABB-Experten,

2 Das Ergebnisbeispiel zeigt die 10 KPIs mit ihren Bewertungsergebnissen als Score-Prozentwert und Score-Punkte sowie dem jeweils niedrigsten Wert (in Punkten) der zugrundeliegenden Kriterien

Bewertungsaspekt	Score Prozent (0–100%)	Score Punkte (1–4)	Min. Score (1–4)
I&C-Assetzustand	33%	2,0	1,5
I&C-Lebenszyklus (Obsoleszenz)	42%	2,3	1,5
Durchsatz	32%	2,0	1,0
Qualität und Ausbeute	59%	2,8	1,5
Flexibilität / Agilität	35%	2,0	1,0
Umgebung, Sicherheit und Compliance	40%	2,2	1,0
Instandhaltung / Nachhaltigkeit	51%	2,5	1,0
Betriebskosten	24%	1,7	1,0
Personal / Nachhaltigkeit	63%	2,9	1,8
Operator-Unterstützung	46%	2,4	1,0

Infobox Beispiele für die Definition von quantitativen Kriterien als Kennzahlen (performance indicators)

ACUI = Automatic Control Utilization Index

$$:= 1 - \frac{\text{Number of control loops designed for automatic but operated in manual mode}}{\text{Number of control loops designed for automatic mode}}$$

QCDI = Quality Control Degree Index

$$:= \frac{\text{Number of on-line measured and controlled product quality parameters}}{\text{Number of product quality parameters}}$$

ARSI = Average Alarm Rate in Steady Operation Index

$$:= \text{Number of alarms received in 10 minutes}$$

AMCI = Automation Maintenance Cost Index

$$:= \frac{\text{Maintenance cost for Automation}}{\text{Estimated replacement value of Automation}}$$

das auf einem umfangreichen Portfolio von entwickelten Automatisierungsprodukten, vielen Neuanlagen- und Modernisierungsprojekten sowie Full-Service-Verträgen für viele Anlagen beruht.

Zur Vereinfachung der weiteren Verarbeitung wurde für jede Kennzahl eine nichtlineare Scoringfunktion eingeführt. Diese harmonisiert die verschiedenen zur Bestimmung der Kennzahlen verwendeten Wertebereiche und bildet diese auf einen einheitlichen Scoring-Wertebereich (1 bis 4) für alle Performance-Indikatoren ab. Die entscheidenden Erfolgsfaktoren für jeden der 10 KPIs werden gewichtet gemittelt, sodass die prozentuale Relevanz jedes Kriteriums berücksichtigt wird. Das Ergebnis ist ein Score auf einer Skala von 1 bis 4 Punkten und ein prozentuales Performance-

Rating. 2 zeigt ein Beispiel-ergebnis in tabellarischer Darstellung. Bezüglich des ersten KPIs (I&C-Assetzustand) wurde eine Bewertung von 33 % bzw. 2,0 Punkten erzielt. Durch die bei der Berechnung der KPIs vorgenommene Mittelung kann es jedoch passieren, dass die schlechte Performance einzelner Kriterien „verschleiert“ wird. Um die Aufmerksamkeit auf solche Punkte zu lenken, wird für jeden KPI das Kriterium mit dem niedrigsten Score als Min. Score ausgewiesen. Der KPI *Durchsatz* in 2 weist zum Beispiel einen Score von 2,0 (Performance im Übergangsbereich) mit einem *Min. Score* von 1 auf. Dies signalisiert, dass mindestens ein Kriterium des KPIs erhebliches Verbesserungspotenzial aufweist.

Ableitung von Verbesserungszielen

Die technische Bewertung liefert Hinweise auf die Stärken und Schwächen eines Betriebs und zeigt Bereiche mit Verbesserungspotenzial auf. Je nachdem, welches Automatisierungssystem, welche Anwendung oder welcher Arbeitsprozess verändert wird, führt dies zu stark unterschied-

lichen Verbesserungen in den verschiedenen Performance-Kategorien. So nimmt zum Beispiel die Prozessanalytik insbesondere Einfluss auf die Ausbeute und Produktqualität, während sich Systeme für die Zustandsüberwachung von Anlagenkomponenten positiv auf die Zuverlässigkeit auswirken. Energiemanagementsysteme hingegen haben einen starken Einfluss auf die Energiekosten.

Die Sensitivitäten von (Automations-) Treibern und (Performance-)Ergebnisgrößen lassen sich in Form einer generischen Sensitivitätsmatrix 3 zusammenfassen, die in zwei Richtungen gelesen werden kann:

- Die wesentlichen Automatisierungsbereiche zur Verbesserung einzelner Performancebereiche können gezielt bestimmt werden.

(Effektbereiche → Systeme / Komponenten / Applikationen)

- Bei fehlenden oder nicht gut arbeitenden Automatisierungsfunktionen können die wesentlichen Effektbereiche abgelesen und genauer untersucht werden. (Systeme / Komponenten / Applikationen → Effektbereiche)

Die ermittelten Kennzahlen können nun bei geeigneter Zusammenfassung der Matrix überlagert werden, um zu sehen, welche Automatisierungsapplikationen, -komponenten und -systeme für eine Verbesserung des Betriebs in seiner speziellen Situation am relevantesten sind. Daraus ergibt sich eine Teilmenge von Einflussgrößen, die dann genauer untersucht werden können. **3** zeigt ein Beispiel: Die roten Zellen enthalten hohe Zahlenwerte, die darauf hinweisen, dass der betreffende Automationsaspekt eine hohe Relevanz für den dazugehörigen Verbesserungsbereich besitzt. Die Zahlen geben eine *Relevanz* oder einen *Verkopplungsgrad* an und nicht eine Performance wie bei den zuvor beschriebenen Kennzahlen.

Wirtschaftliches Verbesserungspotenzial
Technische Verbesserungen sind kein Selbstzweck, sondern sollen die Sicherheit, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs erhöhen. Zwei typische wirtschaftliche Ziele sind die Steigerung des Durchsatzes

und die Einsparung von Kosten. Das Verbesserungspotenzial bezüglich einer Durchsatzsteigerung lässt sich durch eine OEE-Verlustanalyse abschätzen. OEE steht für „Overall Equipment Effectiveness“ und ist definiert als:

$$\text{OEE} = \text{Verfügbarkeit} \times \text{Produktionsrate} \times \text{Qualitätsrate}$$

Die Verwendung der Kennzahl „OEE“ ist als Best-Practice anerkannt. Die OEE vergleicht die aktuelle mit der maximal möglichen Produktion. Letztere liegt vor, wenn eine Anlage permanent bei maximaler Produktionsrate und ohne Minderung der Produktqualität produziert. **4** zeigt ein Beispiel eines OEE-Verlustgraphen für eine Papiermaschine.

ABB verfügt über Datenbanken mit Assessment-Ergebnissen für verschiedene Branchen wie der chemischen Industrie, der Metall- und Baustoffindustrie sowie der Papier- und Zellstoffindustrie. Die Datensätze lassen sich nach Merkmalen wie Region, Branche, Betriebsart usw. klassifizieren. So kann eine geeignete Vergleichsgruppe für die Bewertung einer bestimmten Anlage festgelegt werden.

Die Daten liefern Beispiele für eine (nachgewiesenermaßen erreichte) sehr gute Performance und zeigen, wie die Performance streuen kann **6**. So kann das wirtschaftliche Verbesserungspotenzial einer Anlage abgeschätzt und die Anlage innerhalb der Ver-



- 3** Auszug aus der Sensitivitätsmatrix von (Automations-)Treibern und (Performance-)Ergebnisgrößen für ein Muster-Assessment: Rote Zellen (eingekreist) weisen auf Bereiche mit Verbesserungspotenzial hin.

	Produkt / Anwendung	Verbesserungsbereich / Treiber				
		Verbesserung Prozessausbeute / Effizienz	Verbesserung Durchsatz / Kapazität / Produktionsrate	Verbesserung Prozessqualität	Senkung Energie- & Versorgungskosten	Verbesserung Anlagenagilität
Leittechnik	Instrumentierung – Sensoren & Transmitter	1,6	1,8	1,9	2,1	1,6
	Instrumentierung – Steuerventile und Stellglieder	1,6	1,8	1,9	2,1	1,6
Motoren & Antriebe	Motoren, Antriebe, Motorsteuerung	1,3	1,3	1,3	2,9	1,3
	Analysatoren für Schätzfunktionen von Softwareeigenschaften / inferenziellen Messungen	2,8	1,8	2,8	1,8	2,0
	PLS-Kernel, d. h. Information und Regelung (Systemtyp & -größe für Anlage geeignet)	2,2	2,0	2,2	2,1	2,0
	SCADA & BDE-Stationen	1,0	1,5	1,3	1,4	1,6
	Integration von MES und PLS	1,2	2,0	1,3	1,4	2,3
	Integration von LIMS und PLS, QLS und PIMS	2,2	2,0	2,2	1,4	2,3

Benutzerfreundlichkeit

gleichsgruppe eingeordnet werden. Das Einsparpotenzial bei fixen und variablen Kosten ist besonders dann interessant, wenn eine Anlage nicht produktions-, sondern marktbegrenzt arbeitet. Zu den interessantesten Kostenfaktoren zählen hier Energie-, Instandhaltungs- und Personalkosten. Auch hier lassen sich Verbesserungspotenziale durch Vergleich mit Weltklasse-Benchmarks abschätzen.

Unterstützung durch Softwaretools

Für die in diesem Beitrag vorgestellte Methode der Potenzialanalyse wurde ein Softwaretool entwickelt, das den Assessor durch die Dateneingabe führt und die Analyse weitgehend automatisiert. Die EDV-Unterstützung bei der Durchführung von Assessments und Benchmarks ermöglicht den Zugriff auf das Know-how und die Erfahrung vieler Spezialisten. Außerdem sorgt sie dafür, dass Assessments systematisch durchgeführt werden, was die Konsistenz und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse verbessert. Die Gefahr von Fehlern bei der Datenverarbeitung wird reduziert, und der Assessor kann sich auf seine eigentliche Aufgabe konzentrieren. Ohne EDV-Unterstützung wäre es zudem schwierig, ein Assessment in dieser thematischen Breite binnen kurzer Zeit mit nur 1–2 Personen durchzuführen.

Vorgehensweise

Aus Gründen der Effizienz wurden die Vorgehensweisen für das Assessment standardisiert. Im Folgenden soll der

Ablauf aus Projektsicht skizziert werden (eine Übersicht der Methodik ist in **4** dargestellt):

1. Der Umfang des Assessments wird zusammen mit dem Kunden festgelegt.
2. Dem Betrieb wird vorab ein Formular zur Datensammlung zur Verfügung gestellt.
3. Nach einem vorher vereinbarten Zeitplan führt der Assessor bei einem kurzen Vor-Ort-Besuch eine Anlagenbegehung und Mitarbeiterinterviews durch.
4. Die gesammelten Informationen werden analysiert und das Benchmarking wird durchgeführt.
5. Als Ergebnis werden die festgestellten Bewertungen der Performance und ein Überblick über die Verbesserungspotenziale präsentiert.
6. Optional können technische und wirtschaftliche Verbesserungspotenziale zusätzlich in einer detaillierteren Studie untersucht werden.
7. Ebenfalls optional können die spezifizierten Verbesserungsmaßnahmen in einem Folgeprojekt realisiert werden.

Pilotanwendungen

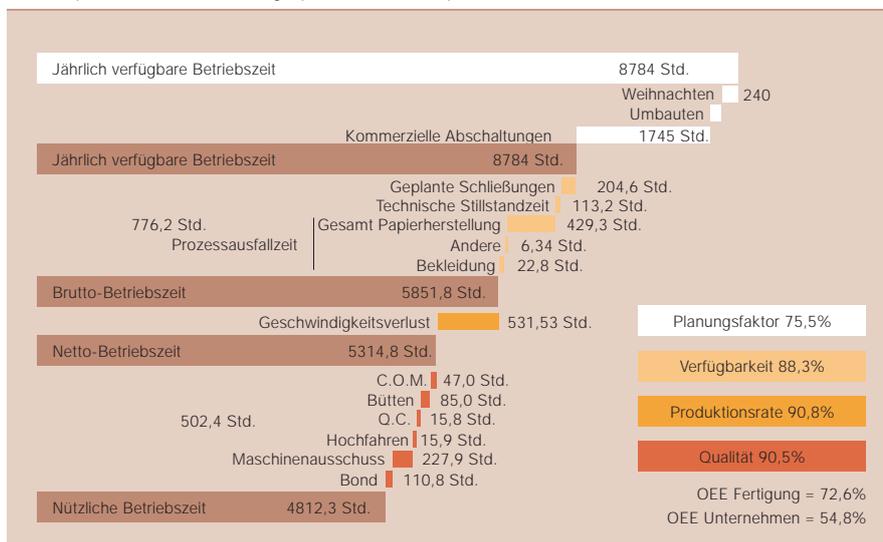
Die vorgestellte Methodik und das unterstützende Softwaretool wurden in mehreren industriellen Pilotprojekten in unterschiedlichen Branchen getestet. Dabei handelte es sich um eine kontinuierlich betriebene Chemieanlage, eine Anlage zum Recycling von Altpapier und verschiedene Papiermaschinen.

In allen Fällen wurden die wichtigsten Produktions- und Finanzdaten von den Kunden zur Verfügung gestellt. Es folgte jeweils eine Vor-Ort-Phase von 2–3 Tagen mit Betriebsbesichtigung und Interviews. Für ein vollständiges Bild wurden Interviews mit Anlagenfahrern, Automatisierungstechnikern, Instandhaltungspersonal, Produktionsplanern, Controllern und der Betriebsleitung durchgeführt. Mithilfe der I&C-Assessmentmethode und des dazugehörigen Softwaretools war es möglich, die Anlage schnell, systematisch und strukturiert zu untersuchen und ein vollständiges Bild von der Leistungsfähigkeit der Automatisierung zu erhalten. Hierbei wurden verschiedene Funktionsbereiche in das Assessment integriert, sodass am Ende eine gesamtheitliche Übersicht über die Performance der Anlage mit ihren Stärken und Schwächen gewonnen werden konnte.

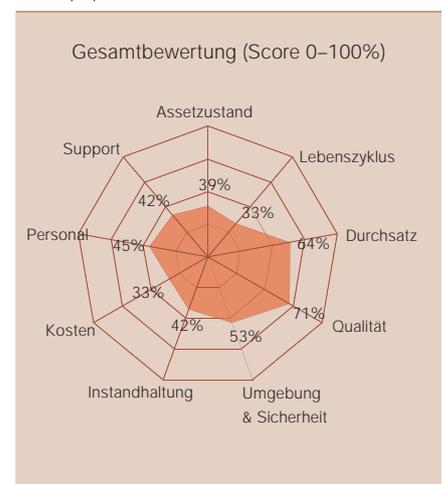
Recyclinganlage für Altpapier

5 zeigt die Ergebnisse eines I&C-Assessments einer Recyclinganlage für Altpapier. Die Untersuchung identifizierte Defizite in Bezug auf die Lifecycle-Problematik des Leitsystems und zeigte, dass das derzeitige Leitsystem einer geplanten Kapazitätserweiterung nicht gewachsen sein würde. Mit dem Alter des Leitsystems hing auch das schlechte Abschneiden bei den Kosten zusammen. Mehr als 50 % der Wartezeit wurde für reaktive Instandhaltungsmaßnahmen verwendet. Eine vorbeugende Wartungsstrategie sollte

4 Beispiel eines OEE-Verlustgraphen für eine Papiermaschine



5 Ergebnisdarstellung für das technische Assessment einer Recyclinganlage für Altpapier



diesen Zeitanteil verringern, sodass mehr Zeit für Optimierungen am Leitsystem und der Prozessführung verwendet werden kann.

Obwohl sich die Produktionsleistung bereits auf einem hohem Niveau befand, konnten bedeutende Schwankungen in der Produktionsleistung festgestellt werden, die aus der unterschiedlichen Fahrweise des Bedienpersonals resultierten. Durch ein einheitliches Betriebspunkt-Management und entsprechende Arbeitsanweisungen sollte die Produktionsleistung auf ihrem Maximum stabilisiert werden können.

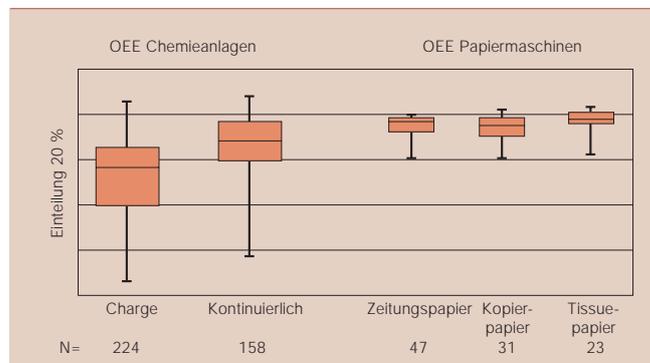
Papierherstellung

Bei einer Papiermaschine führte das I&C-Assessment zu der in 7 dargestellten Bewertung. Nach einer umfangreichen Modernisierung der Leittechnik konnte der Kunde durchweg gute Bewertungen in den KPIs *Assetzustand* und *Operator-Unterstützung* erreichen. Das schlechte Ergebnis im Bereich Kosten ist hauptsächlich auf die unkoordinierte Unterstützung durch die beiden internen Abteilungen Instandhaltung und Engineering sowie durch Lieferanten bzw. Drittanbieter zurückzuführen. Hier sollte eine klarere Aufteilung der Zuständigkeiten dem Betreiber zu einer Steigerung der Effizienz und Senkung der Kosten verhelfen.

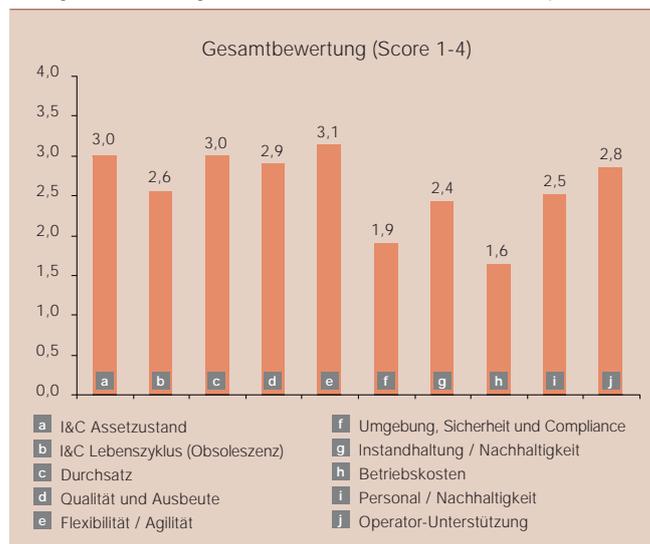
Chemieanlage

Beim Assessment und Benchmarking einer kontinuierlich betriebenen Chemieanlage wurden die Bereiche Ausbeute, Energieeffizienz und Kapazität als Bereiche mit dem größten Verbesserungspotenzial identifiziert. Nach einer detaillierten Engineeringstudie

6 OEE-Verteilung einiger Chemieanlagen (links: Fehlerbalken für Minimum und Maximum; Kästchengrenzen: 1. Quartil, Median, 3. Quartil) und einiger Papiermaschinen (rechts: Fehlerbalken für Minimum und Maximum; Kästchengrenzen: Median, Top 25 %, Top 10 %)



7 Ergebnisdarstellung für das technische Assessment einer Papiermaschine



wurden Verbesserungsmaßnahmen implementiert. Diese beinhalteten u. a. Änderungen zur Verringerung der Ausbeuteverluste um 10 %. Dazu waren keine zusätzlichen Investitionen, sondern lediglich einige Anpassungen im Leitsystem und im Betrieb der Anlage erforderlich. Bei den Energiekosten konnten durch veränderte Fahrweisen der Anlage bis zu 15 % eingespart werden. Generell wurde vom Kunden positiv bemerkt, dass durch die hier vorgestellte systematische Methode die relevanten Angriffspunkte schnell

identifiziert wurden und dass der Einsatz externer Assessoren zur Objektivität der Ergebnisse beigetragen hat.

Zusammenfassung und Ausblick

Das in diesem Beitrag beschriebene Verfahren und das EDV-gestützte Tool ermöglichen ein schnelles Assessment und Benchmarking von Automatisierungssystemen, deren Performance und dazugehörigen Arbeitsprozessen. Dabei werden Verbesserungspotenziale erkannt und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen abgeschätzt. Diese neue Methode hat Kunden in mehreren Pilotstudien dabei geholfen, die wichtigsten Angriffspunkte zur Verbesserung ihrer Anlagenperformance zu identifizieren.

Andreas Kroll

Fachgebiet Mess- und Regeltechnik
Universität Kassel, Deutschland
andreas.kroll@mrt.uni-kassel.de
(vormals ABB Corporate Research Deutschland)

Frank Simon

ABB Automation GmbH
Mannheim, Deutschland
frank.j.simon@de.abb.com

Gordon Cheever

ABB Process Automation
Service Business Development
Wickliffe, USA
gordon.r.cheever@us.abb.com

Tomi Pilbacka

ABB Full Service
Helsinki, Finnland
tomi.pilbacka@fi.abb.com

David Stanier

ABB Engineering Service
Billingham, Großbritannien
david.stanier@gb.abb.com

Fußnote

¹⁾ Eine ähnliche Version dieses Artikels ist bereits in deutscher Sprache erschienen [1].

Literaturhinweise

- [1] Kroll, A., Simon, F. (2006): „Beurteilung und Potenzialanalyse der Leistungsfähigkeit von Automatisierungssystemen und Arbeitsprozessen in der Prozessindustrie“, atp – Automatisierungstechnische Praxis 48, Nr. 8, S. 42–49
[2] Ahmad, M., Benson, R. (1999): „Benchmarking in the process industries“. Rugby: IChemE. ISBN 0 85295 411 5

Leistungshalbleiter

Teil 2: Gehäusetechnologien und zukünftige Entwicklungen

Stefan Linder

In den letzten Jahrzehnten haben sich Leistungshalbleiter infolge der kontinuierlichen und rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie zu sehr leistungsstarken, effizienten und benutzerfreundlichen Bauelementen gemausert, die mittlerweile in einer Vielzahl von Anwendungen allgegenwärtig sind. Der erste Teil dieses Artikels, der in der vorherigen Ausgabe der ABB Technik erschienen ist¹⁾, befasste sich mit Aspekten des Chipdesigns und der Optimierung sowie mit der Verwendung verschiedener Klassen von Leistungshalbleitern, insbesondere von IGBTs und IGCTs.

Mit der kontinuierlichen Optimierung des Siliziums ist die Leistungsfähigkeit von Halbleitern immer näher an die physikalischen und technologischen Grenzen gerückt, sodass in dieser Hinsicht ohne bahnbrechende Neuerungen kaum noch Verbesserungen zu erwarten sind. Die Gehäuse hingegen bieten noch erhebliches Potenzial zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit – ein Aspekt, der in diesem Artikel näher betrachtet werden soll.

Nahezu alle handelsüblichen Leistungshalbleiter basieren heute auf Silizium. Dieser Artikel wagt einen Blick in die Zukunft und befasst sich mit dem Potenzial sogenannter „Wide-Bandgap“-Materialien wie Siliziumkarbid, Galliumnitrid und Diamant.

Während bis vor etwa einem Jahrzehnt die Gehäuse von Leistungshalbleitern nicht viel mehr als Behältnisse für die Bauelemente waren, werden sie heute mehr und mehr zum begrenzenden Element in leistungselektronischen Systemen. Aus diesem Grund befassen sich die Entwickler verstärkt mit Aspekten des Gehäusedesigns, um die damit verbundenen Begrenzungen zu überwinden.

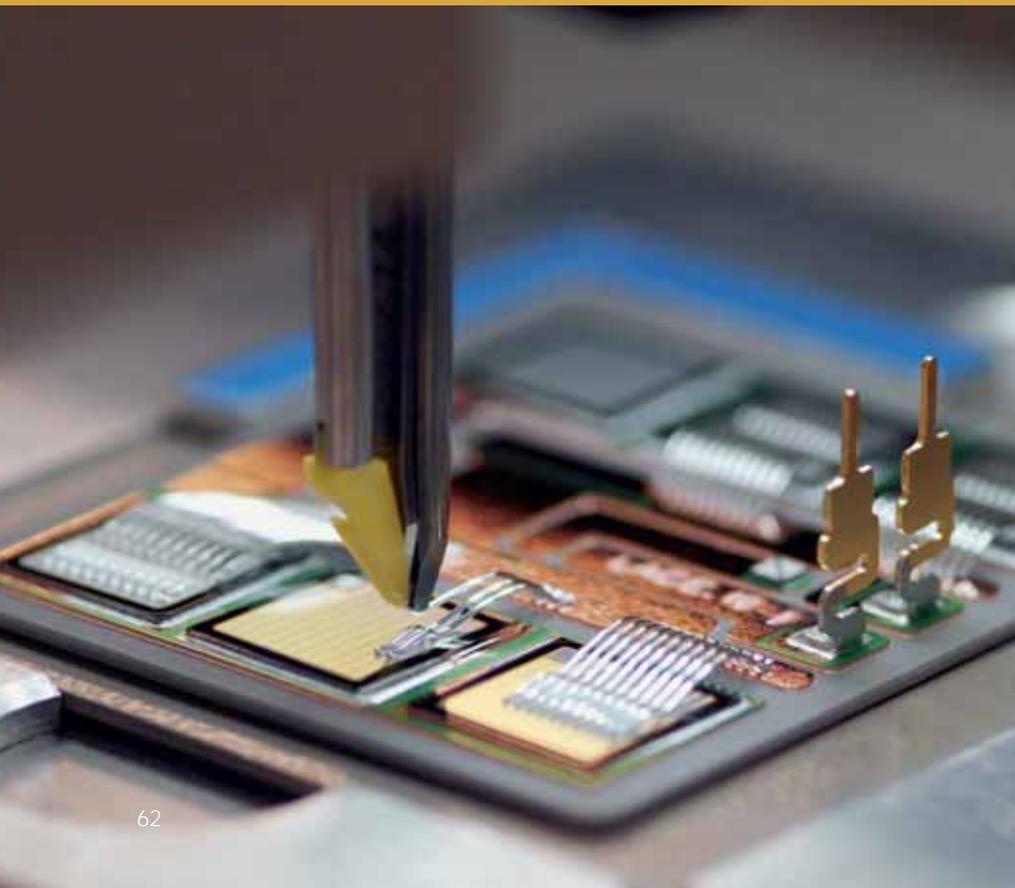
Gehäuseformen

Im Hochleistungsbereich haben sich zwei konzeptionell unterschiedliche Gehäuseformen etabliert: das isolierte Gehäuse und das Druckkontaktmodul . Der Hauptunterschied besteht darin, dass der elektrische Kreis im isolierten Modul durch einen keramischen Isolator galvanisch vom Kühlkörper getrennt ist, während der Strom in der Druckkontakt-Bauform vertikal durch das ganze Modul fließt, also auch durch die Kühlkörper.

Beide Gehäuseformen eignen sich grundsätzlich für IGBTs und IGCTs. In der Praxis werden IGCTs heute jedoch nur in Druckkontaktgehäusen angeboten, während bei IGBTs beide Lösungen zur Verfügung stehen. In Systemen mit niedrigen Ausgangsleistungen (meist unter 1 MW) dominiert heute das isolierte Gehäuse, da sich die Schaltung so mit geringerem mechanischem Aufwand (und damit auch zu niedrigeren Kosten) realisieren lässt. Ab ca. 10 MW Ausgangsleistung setzte sich hingegen aus mehreren Gründen das Druckkontaktgehäuse durch.

Fußnote

¹⁾ Stefan Linder: „Leistungshalbleiter – Teil 1: Grundlagen und Anwendungen“, ABB Technik 4/2006, S. 34–39.



Die beiden wichtigsten Gründe hierfür sind:

- Bei Systemen mit sehr hohen Ausgangsleistungen müssen die Halbleiter parallel und/oder in Reihe geschaltet werden. Für Letzteres bieten Druckkontaktgehäuse einen erheblichen Vorteil, da die Module – jeweils nur durch einen Kühlkörper getrennt – aufeinander gestapelt werden können. Ein Beispiel hierfür sind HGÜ-(Hochspannungs-Gleichstromübertragungs-)Anlagen, in denen bis zu 200 Module in Reihe geschaltet werden.
- Falls die Anwendung einen garantiert unterbrechungsfreien Stromfluss verlangt (z. B. ein Stromwechsellrichter, aber auch alle Systeme, die im Fehlerfall die Zwischenkreisenergie mittels Durchzündern in den Halbleitern verteilen), muss ein Druckkontaktgehäuse zur Anwendung kommen. Im Druckkontaktgehäuse verschmelzen beim Versagen eines Halbleiters die metallischen Polstücke, wodurch ein niederohmiger Strompfad gewährleistet wird. Im isolierten Gehäuse hingegen fließt der Strom durch Bonddrähte, die durch den Überstrom im Fehlerfall aufschmelzen und den Stromfluss unterbrechen.

Anforderungen an die Gehäusetechnologie

Die Herausforderung beim Gehäuse-design besteht hauptsächlich aus zwei Faktoren:

- Moderne Leistungshalbleiter werden mit einer Dauerverlustleistung von 100–200 W pro cm² Silizium betrieben. Diese Flächenleistungsdichte liegt etwa eine Größenordnung über der einer mit maximaler Leistung betriebenen Küchenherdplatte, was extreme Anforderungen an die Gehäusetechnologie und an die verwendeten Materialien stellt.
- Silizium hat einen etwa 5- bis 10-fach niedrigeren Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE = coefficient of thermal expansion) als die meisten für die elektrische und thermische Ankoppelung geeigneten Metalle (Cu, Al). Dies bedeutet, dass bei Lastwechseln kritische Teile im Gehäuse (Bonddrahtkontakte, Lötstellen) thermomechanisch stark beansprucht werden, was

deren Lebensdauer wesentlich einschränkt.

Aufgrund dieser Anforderungen gibt es im Hochleistungsbereich keine Alternative zum Einsatz von teuren und technisch hoch entwickelten Werkstoffen.

Verbesserungspotenziale in der Gehäusetechnologie

Erhöhte Sperrschichttemperaturen

Die nutzbare Ausgangsleistung P_{nutzbar} von Leistungshalbleiter-Bauelementen skaliert gemäss dem Gesetz

$$P_{\text{nutzbar}} \propto \frac{T_{j,\text{max}} - T_{\text{Umgebung}}}{R_{\text{th}}} \quad (1)$$

$T_{j,\text{max}}$ ist die maximale Sperrschichttemperatur, T_{Umgebung} steht für die Temperatur der Wärmesenke (der Umgebung), und R_{th} ist der thermische Widerstand zwischen der Sperrschicht und der Umgebung.

Aus dieser Formel ist sofort ersichtlich, dass eine Erhöhung der maximalen Sperrschichttemperatur von Hochspannungs-Bauelementen (über 1.700 V) von 125 °C (heutiger Standard) auf 150 °C zu einer Leistungssteigerung im Bereich von 25–30 % führt (ausgehend von einer Umgebungstemperatur von etwa 20–40 °C). Alternativ könnte das bessere Kühlvermögen auch in größere Halbleiterverluste bei einer gegebenen Ausgangsleistung des Systems „investiert“ werden. Letzteres würde den Betrieb des Wechselrichters bei einer höheren Taktfrequenz erlauben, was zu einem geringeren Gehalt an harmonischen Komponenten führt und daher eine Verkleinerung der Filter erlaubt.

In der Praxis müssen eine Reihe wesentlicher Rahmenbedingungen erfüllt sein, damit dieses Potenzial auch tatsächlich ausgeschöpft werden kann:

1) Eigenschaften von Silizium

- Die Leistungshalbleiter müssen in der Lage sein, den größeren Nennstrom auch bei der höheren Sperrschichttemperatur noch immer sicher abzuschalten.
- In Spannungswechsellrichtern müssen die Freilaufdioden im Fehlerfall in der Lage sein, dem erhöhten Stoßstrom sicher standzuhalten.

- IGBT-Elemente müssen noch immer über eine ausreichende Kurzschlussfestigkeit verfügen.
- Die Siliziumbauteile müssen bei 150 °C ein stabiles Verhalten aufweisen, d. h. sie dürfen keine temperaturbedingte, sich beschleunigende Stromumverteilung ermöglichen.

2) Eigenschaften der Gehäuse- und Verbindungstechnologie

- Die Verbindungstechnologie muss über eine ausreichende thermomechanische Lastwechselfestigkeit verfügen.
- Die verwendeten Materialien müssen die auftretenden Temperaturen aushalten.

Bei der Optimierung von Halbleiteranwendungen stellt die Stoßstromfähigkeit der Freilaufdioden üblicherweise die größte Hürde dar, da diese oft bereits bei 125 °C das limitierende Element darstellt. Eine Steigerung der Ausgangsleistung ist normalerweise jedoch mit höheren Anforderungen hinsichtlich des Stoßstroms verbunden. Dies erfordert größere Dioden, was einerseits den verbleibenden Platz für die Schalter (IGBT oder IGCT) reduziert, und generell auch zu einer Erhöhung der Einschaltverluste führt. Ohne innovative Ansätze scheint deshalb der Raum für eine Leistungssteigerung mittels Erhöhung der Sperrschichttemperatur begrenzt. Das Potenzial ist aber deutlich geringer als bei der in der Formel (1) vorgeschlagenen rein thermischen Betrachtung.

In der Verbindungstechnologie wirkt hauptsächlich die thermomechanische Lastwechselfestigkeit begrenzend.

- zeigt die Fähigkeit von modernen isolierten Hochleistungsmodulen für den Fall einer maximalen Sperrschichttemperatur von 125 °C und die ungefähre Kurve für dieselbe Konstruktion bei einer Erhöhung von $T_{j,\text{max}}$ auf 150 °C. Ebenfalls eingezeichnet ist, wie die Kurve aussehen müsste, um dem System bei 150 °C dieselbe Lebensdauer zu verleihen wie bei 125 °C. Man erkennt, dass die Anforderungen bei einer höheren Sperrschichttemperatur deutlich ansteigen. Dies gilt besonders bei großen Temperaturwechseln und ist darauf zurückzuführen, dass wesentliche Veränderungen in den Lastbedingungen (z. B. Volllast/

Benutzerfreundlichkeit

Nullast-Zyklen) um bis zu 25 °C höhere Temperaturhübe verursachen. Bei kleinen ΔT steigen die Anforderungen weniger stark an, da die Temperatur der Sperrschicht durch kleine Schwankungen in der Ausgangsleistung zu einem geringeren Maß beeinflusst wird. Fällt die Ausgangsleistung bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C zum Beispiel von 100 % auf 90 %, so sinkt die Sperrschichttemperatur bei $T_{j,max} = 125\text{ °C}$ um 9,5 °C und bei $T_{j,max} = 150\text{ °C}$ um 12 °C.

Angesichts der Tatsache, dass die Lastwechselfestigkeit heutiger Produkte in vielen Anwendungen (vor allem im Traktionsbereich) die Anforderungen nur knapp erfüllt, wäre für das Anheben der Sperrschichttemperatur auf 150 °C eine Steigerung der Fähigkeit der Module um mindestens den Faktor 5 vonnöten. Dies dürfte nur durch die Entwicklung neuer Technologien möglich sein. Insbesondere müssen großflächige Lötstellen wahrscheinlich durch bessere Verbindungstechnologien ersetzt werden. Der vielleicht aussichtsreichste Kandidat ist die sogenannte Niedertemperatur-Verbindungstechnik (NTV), bei der zwei Teile durch eine schwammartige Silberflocken-Sinterschicht verbunden werden. Diese Verbindungen weisen neben erhöhten Lastwechselfähigkeiten auch geringere thermische Widerstände auf.

Senkung des thermischen Widerstands Alternativ zur Erhöhung der maximalen Sperrschichttemperatur kann eine Steigerung der Ausgangsleistung auch durch die Verringerung des thermischen Widerstands R_{th} erreicht werden (siehe Formel 1). Die typische Aufteilung des R_{th} in einem Aufbau mit einem isolierten Hochleistungs-IGBT-Modul mit einer IGBT-Gesamtfläche von ca. 45 cm² ist ungefähr wie folgt:

- IGBT-Sperrschicht zur Aluminium-Siliziumkarbid-(AlSiC)-Bodenplatte: 7 K/kW
- AlSiC-Bodenplatte zum Kühlkörper (trockener Kontakt): 6 K/kW
- Kühlkörper zur Umgebung: 10–35 K/kW*

* Dieser Wert ist stark abhängig vom Kühlprinzip (niedrig bei Flüssigkeitskühlung, höher bei Kühlung durch Luft)

Auffällig ist, dass der trockene Kontakt zwischen Modul und Kühlkörper etwa denselben thermischen Widerstand aufweist wie das Modul selbst und dass 40–70 % des gesamten R_{th} zwischen dem Kühlkörper und der Umgebung angesiedelt ist. Angesichts dieser Tatsache erscheint es gewinnbringender, die äußeren thermischen Widerstände zu senken, als sich ausschließlich auf die Senkung des R_{th} innerhalb des Moduls zu konzentrieren. Dies wird gestützt durch die Tatsache,

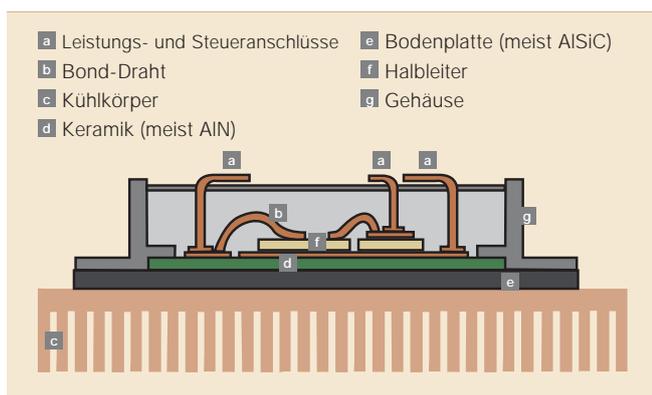
dass moderne Siliziumbauteile über große Leistungsreserven verfügen (siehe Teil 1 in ABB Technik 4/2006), sowie durch das Aufkommen neuer Materialien, die in der Lage sind, den internen thermischen Widerstand der Module um 30–50 % zu senken. Zu diesen Materialien gehören fortschrittliche Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe (Metal-Matrix Composites, MMC), die sowohl über eine gute CTE-Anpassung als auch über eine sehr hohe thermische Leitfähigkeit verfügen. Ein Beispiel hierfür sind Diamant-MMC, die mit ihren thermischen Leitfähigkeiten von 400–700 W/mK selbst Kupfer ausstechen. Kupfer findet aufgrund seines hohen CTE-Unterschieds zu Silizium nur Verwendung in Kombination mit anderen Materialien, die über einen angepassten CTE verfügen (z. B. Molybdän [1]).

Neben Verbesserungen im Kühlkörper verdient der trockene (nicht stoffschlüssige) Kontakt zum Modul besondere Aufmerksamkeit. Dessen thermischer Widerstand ist nicht nur hoch, sondern auch ausgesprochen anfällig für Schwankungen, da ein homogener Anpressdruck und ein guter Kontakt der Flächen nur schwer sicherzustellen sind. Die Verwendung von Wärmeleitpasten und Silikonölen bringt nur eine geringfügige Linderung der Probleme, da die Wärmeleitfähigkeit dieser Stoffe mindestens um den Faktor 100 geringer ist als die der für den Modulboden

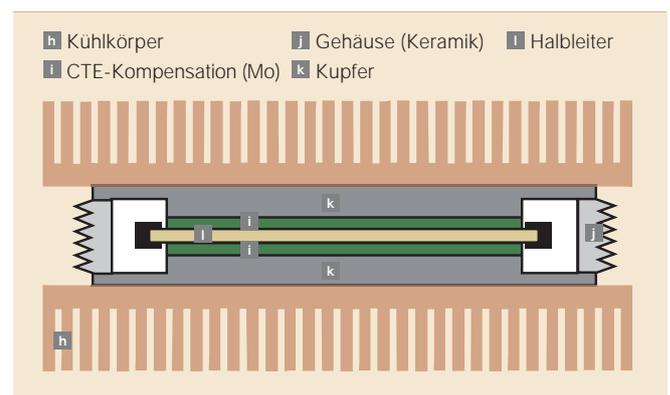
1 Gebräuchliche Gehäuseformen für Hochleistungshalbleiter.

Links ein isoliertes Modul, rechts ein Druckkontaktmodul (hier ein typischer IGBT)

Bei **Modulen mit isoliertem Gehäuse** ist der Halbleiter **f** galvanisch vom Kühlkörper **c** getrennt. Die elektrische Verbindung innerhalb des Moduls erfolgt über Bonddrähte. Bei einem Ausfall schmelzen diese Drähte auf, und das Modul verliert seine Leitfähigkeit.



Bei **Druckkontaktmodulen** tritt der Laststrom durch eine Oberfläche **k** ein und verlässt das Modul auf der gegenüber liegenden Seite. Durch hohen mechanischen Druck auf den Flächen wird ein niedriger elektrischer und thermischer Widerstand in den Kontakten gewährleistet. Bei einem Ausfall verschmelzen die metallischen Polteile, sodass der Strom weiterhin durch das Modul fließen kann.



und den Kühlkörper verwendeten Metalle. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieses Problems besteht in der Verwendung spezieller metallischer Zwischenschichten mit hoher thermischer Leitfähigkeit, die unter normalen Betriebsbedingungen sehr weich oder sogar flüssig sind und damit eine Verbindung zwischen Kühlkörper und Modul herstellen, die einen ähnlichen thermischen Widerstand aufweist wie eine stoffschlüssige Verbindung. Alternativ dazu ist es auch vorstellbar, dass Module mit integriertem Kühlkörper eine Wiedergeburt erleben, da bei diesem Konzept der trockene Kontakt vollständig wegfällt. Solche Produkte konnten sich bisher nicht auf einem breiten Markt etablieren.

Neue Halbleitergenerationen

Siliziumbauelemente

Vor allem in den 1990er Jahren wurden viele neue Bauelementideen untersucht. Deren bekannteste Vertreter waren der MCT (MOS-Controlled Thyristor), der FCTh (Field-Controlled Thyristor) und der EST (Emitter-Switched Thyristor). Das gemeinsame Ziel dieser Bauelementkonzepte bestand darin, thyristorartige Eigenschaften²⁾ mit niedriger Treiberleistung zu kombinieren. Da alle diese Bauteile konzeptionelle Mängel aufwiesen und die Plasmaverteilungen in modernen IGBTs dem Thyristor-Ideal bereits sehr nahe gekommen sind, hat die Innovation bezüglich neuartiger Strukturen mittlerweile deutlich nachgelassen. Es scheint heute weniger wahrscheinlich denn je, dass der IGBT und der IGCT in Zukunft durch ein grundlegend anderes Siliziumbauteil ersetzt werden.

„Wide-Bandgap“-Materialien

Eine alternative Entwicklungsrichtung sind Bauteile, die auf sogenannten „Wide-Bandgap“-Halbleitermaterialien basieren. Der Vorteil dieser Werkstoffe, deren bekannteste Vertreter Siliziumkarbid (SiC), Galliumnitrid (GaN) und Diamant (C) sind, liegt in ihrer deutlich höheren Durchbruchfeldstärke im Vergleich zu Silizium. Dies ermöglicht deutlich niedrigere Bauteildicken und höhere

Dotierungen des Mittelbereichs³⁾ als bei Silizium, was aus den im ersten Teil erörterten Gründen⁴⁾ zu wesentlich geringeren Verlusten im Halbleiter führt.

Im Hochleistungsbereich kann derzeit nur SiC als ernsthafter Anwärter betrachtet werden. SiC ermöglicht als bisher einziges Material vertikale Bauteile, d. h. Komponenten, bei denen der Strom nicht an der Oberfläche entlang, sondern senkrecht durch den Halbleiterkörper fließt. Nur die vertikale Bauform bietet die Möglichkeit, dem Strom unter Einhaltung einer akzeptablen Bauelementgröße einen genügend großen Querschnitt für hohe Leistungen zur Verfügung zu stellen.

Bevorzugte SiC-Bauelementkonzepte

Wie beim Silizium können in SiC unipolare und leitfähigkeitsmodulierte („bipolare“) Halbleiter gefertigt werden. Der ökonomische Einsatz von unipolaren SiC-Bauteilen ist allerdings aufgrund der größeren erlaubten Driftzonendotierung bis zu deutlich höheren Sperrspannungen möglich als mit Silizium (konkret bis ca. 2–4 kV). Für den Einsatz im Hochspannungs- und Hochleistungsbereich stehen hingegen bipolare SiC-Bauteile im Zentrum des Interesses.

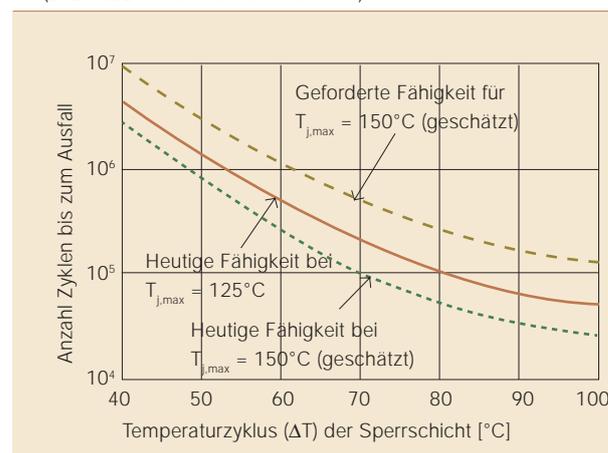
■ Bei den unipolaren Bauelementen sind Schottky-Dioden mit Nennströmen bis 20 A und Spannungen bis 1.200 V bereits heute kommerziell erhältlich. Zur Anwendung kommen sie hauptsächlich in Schalt-

netzteilen und in Solarzellen-Wechselrichtern. Weiter gelingt es heute auch bereits, unipolare SiC-Schalter (MOSFETs und JFETs) herzustellen, allerdings erst im Labormaßstab. Ein ernsthaftes Problem besteht darin, dass SiC-MOSFETs und SiC-JFETs mit attraktiven elektrischen Charakteristiken bislang immer natürlich leitend („normally-on“) waren. Solche Bauteile wurden vom Markt noch nie akzeptiert, auch wenn die damit verbundenen Herausforderungen technisch lösbar scheinen.

■ Im bipolaren Bereich wurden neben Dioden bereits erfolgreich IGBTs, bipolare Transistoren (BJT), und Thyristoren für Spannungen bis 10 kV gefertigt. Beim BJT ist anzumerken, dass es sich zwar um ein bipolares Bauelement handelt, bei dem aber im Durchlass normalerweise keine Leitfähigkeitsmodulation auftritt (es sei denn, er wird mit einer sehr niedrigen Verstärkung betrieben). Aufgrund seiner Verlusteigenschaften sollte der BJT daher eher in die Gruppe der unipolaren Bauelemente eingeordnet werden.

Ein prinzipielles Problem von SiC-Bauteilen mit Leitfähigkeitsmodulation ist darauf zurückzuführen, dass SiC-pn-Übergänge erst bei ca. 2,8 V zu leiten beginnen (im Gegensatz zu Silizium, das lediglich eine Spannung von ca. 0,7 V benötigt). Da bei allen leitfähigkeitsmodulierten Bauelementen immer mindestens ein pn-Übergang im Strompfad liegt, weisen solche Bauteile grundsätzlich hohe Durchlassverluste auf, was deren Attraktivität unterhalb einer Durchbruchspannung von ca. 4–6 kV deutlich mindert. Zusätzlich verfügt die Einsatzspannung von SiC-pn-Übergängen über einen stark negativen Temperaturkoeffizienten, weshalb bei großen Bauteilen die Gefahr einer inhomogenen Stromverteilung besteht.

2 Thermomechanische Lastwechselfestigkeit von modernen isolierten Hochleistungs-IGBT-Modulen mit AISiC-Bodenplatten (z. B. ABB HiPak oder Infineon IHM)



SiC-Materialqualität

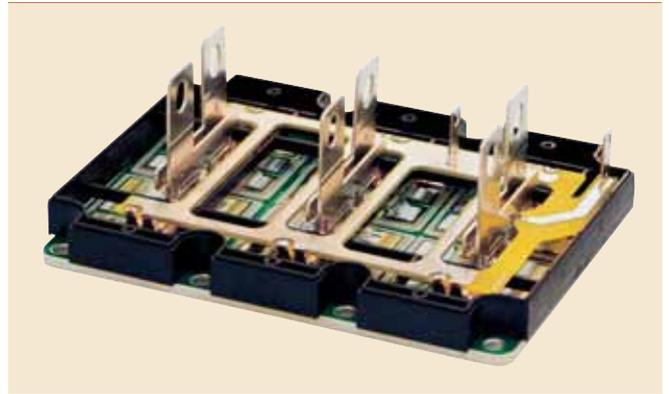
SiC ist noch immer ein Material, das sehr schwer in einer mit Silizium vergleichbaren Qualität herzustellen ist. Die oft zitierten „Micropipes“ sind nur einer von mehreren

Benutzerfreundlichkeit

Montage eines HiPak-Leistungshalbleitermoduls



Blick in ein HiPak-Modul (siehe auch 1 auf Seite 64 links)



schädlichen Kristalldefekten, von denen sich einige besonders bei bipolaren Bauelementen negativ auf die Langzeitstabilität auswirken können. Die industrielle Fertigung von großflächigen SiC-Bauteilen ist deshalb noch nicht möglich. Ein weiterer Negativpunkt ist, dass der Anreiz zur Verbesserung der SiC-Qualität eher gering ist. Dies liegt daran, dass der größte Teil des produzierten SiC nicht zur Fertigung von Leistungshalbleitern, sondern als Trägermaterial für die Fabrikation von LEDs (Leuchtdioden) verwendet wird. Dabei kommt für LEDs ein anderer Typ von SiC zur Anwendung (6H statt 4H), und aufgrund der minimalen Größe der LED reicht bereits eine sehr viel geringere Materialgüte zur wirtschaftlichen Fertigung aus.

SiC-Gehäusetechnologie

Es gilt als unbestritten, dass SiC-Bauelemente noch für eine lange Zeit wesentlich teurer sein werden als Siliziumbauteile gleicher Größe. Die Hoffnung auf wirtschaftlichen Erfolg im Hochleistungsbereich basiert auf der Tatsache, dass die Bauelemente aufgrund ihrer geringeren Verluste und der höheren erlaubten Sperrschichttemperatur (bis über 400 °C) bei einer deutlich höheren Stromdichte betrieben werden können als Siliziumbauteile. Leider stehen diesem Ziel zwei schwerwiegende Hindernisse entgegen:

- Aus den im Abschnitt „Erhöhte Sperrschichttemperaturen“ erwähnten Gründen ist es schwierig, eine Gehäusetechnologie zu etablieren, die signifikant höhere Sperr-

schichttemperaturen zulässt, als dies bei Silizium üblich ist. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Verluste pro Flächeneinheit von großen SiC-Bauteilen bei unveränderten Zuverlässigkeitsanforderungen innerhalb der gleichen Grenzen bleiben müssen wie die von Bauelementen aus Silizium.

- Des Weiteren besteht das Problem, dass SiC-Bauteile kürzere Schaltzeiten (d. h. größere di/dt) aufweisen als Silizium, weshalb die erlaubten Streuinduktivitäten in Gehäusen geringer sind als bei der Verwendung von Siliziumbauteilen. Doch die Tatsache, dass Streuinduktivitäten wesentlich von Isolationsabständen und Leiterquerschnitten beeinflusst werden, macht es schwierig, die geforderten Werte in Gehäusen für hohe Ausgangsleistungen zu erreichen.

Die Kombination von Problemen mit der SiC-Materialgüte, hohen Kosten und technologischen Schwierigkeiten sowohl bei den Bauelementen als auch in der Gehäusetechnologie verringert leider die Hoffnungen auf einen baldigen Durchbruch von SiC im Hochleistungsbereich.

Zusammenfassung

Im höchsten Leistungssegment haben sich IGBTs und IGCTs in den letzten Jahren klar als die beiden erfolgreichsten Halbleiterschalter durchgesetzt. Beide Konzepte entwickeln sich parallel, wobei zu beobachten ist, dass sich die Zielsetzungen mehr und mehr annähern. Beide Bauteile können unterdessen als ausgereift betrachtet werden, d. h. Quantensprünge scheinen kaum

mehr möglich zu sein, und das Motto für die Zukunft lautet eher Evolution als Revolution. Doch dies gilt nicht für die Gehäuse- und Verbindungstechnologien, die eine Ausschöpfung des bisher ungenutzten Potenzials von Silizium in Zukunft ermöglichen könnten. Die Motivation dazu ist hoch, denn bis zur breiten Einführung von „Wide-Bandgap“-Materialien im hohen Leistungsbereich ist es noch ein langer Weg. SiC scheint derzeit als einziges dieser Materialien reelle Chancen zu haben.

Stefan Linder

ABB Schweiz AG, Semiconductors
Lenzburg, Schweiz
stefan.linder@ch.abb.com

Fußnoten

- ² Siehe Abschnitt „Optimierung von Druchlass- und Abschaltverlusten durch Anpassen der Plasmaverteilung“ auf Seite 36 in Teil 1 dieses Artikels.
- ³ Die sogenannte „Driftzone“ – siehe Abb. 4 auf Seite 37 in Teil 1 dieses Artikels.
- ⁴ Siehe „Designziele des IGBT und des IGCT“ auf Seite 35 in Teil 1 dieses Artikels.



Im Klartext

Natürliche Sprachinteraktion in der Industrieautomatisierung

Juan S. Jaliff, Magnus Larsson, Morgan Johansson,
Boris Katz, Gary Borchardt

Bei der Recherche nach Informationen in einer öffentlichen Bibliothek gibt es mehrere Wege, das richtige Bücherregal zu finden. Einer besteht darin, im systematischen Katalog der Bibliothek zu suchen. Dies kann in schwierigen Fällen nicht nur zeitaufwendig und verwirrend sein, sondern es werden auch wichtige Informationen aus verwandten Bereichen übersehen. Ist man sich unsicher, fragt man lieber das Personal. Denn es versteht unsere natürliche Sprache und kann uns direkt zum richtigen Regal führen.

Ähnlich muss sich ein Anlagenfahrer in einer Leitwarte bei der Suche nach Informationen durch mehre Ebenen von Untermenüs arbeiten, um Teile von Informationen zu finden, die nur in Verbindung mit Informationen aus anderen Teilen des Systems einen Sinn ergeben. Im Normalfall mag ein qualifizierter Bediener hierfür nur wenige Mausklicks benötigen, doch in besonderen Situationen kann sich dies erheblich schwieriger gestalten. Was wäre aber, wenn der Computer genau wie das Bibliothekspersonal unsere natürliche Sprache verstehen könnte? Genau das ist das Ziel eines gemeinsamen Forschungsprojekts von ABB und dem MIT.

Wie viel Ausbildung ist notwendig, bis jemand in der Lage ist, in einer Industrieanlage wichtige Prozessinformationen abzurufen? Wie können Wissen und Erfahrung auf einfache Weise unter den betreffenden Mitarbeitern ausgetauscht werden? Mit solchen Fragen müssen sich die Betreiber von Industrieanlagen kontinuierlich auseinandersetzen, denn es wird immer spezialisierteres Personal benötigt, um die Produktionslinien so effizient und wirtschaftlich wie möglich zu betreiben und zu warten. Was wäre, wenn man die ständig wachsenden Informationsverarbeitungs- und Speicherkapazitäten besser nutzen könnte, indem man den Zugriff auf die Daten erleichtert? Forscher vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) und ABB haben gemeinsam eine Technologie vorgestellt, die es zukünftigen Benutzern ermöglicht, Informationen in einfachem Englisch von einem Automatisierungssystem abzufragen. Das Tool basiert auf der Flexibilität moderner Automatisierungssysteme von ABB und ist in der Lage, große Mengen von Prozess- und Anlageninformationen zu bewältigen. Zu den zukünftigen Herausforderungen dieses Projekts gehört die automatische Erläuterung von Informationen (mithilfe sog. Annotationen) und die Gewinnung von Wissen aus Abfragesitzungen.

Hintergrund

Ein industrielles Automatisierungssystem umfasst typischerweise mehrere Tausend E/A-Signale, die mehrere Hundert reale Objekte im Produktionsbereich wie Ventile, Tanks, Motoren, Reaktoren usw. steuern. Die Anlagenfahrer und andere Benutzer interagieren mit dem System über eine grafische Benutzeroberfläche (Graphical User Interface, GUI). Ein Anzeigesystem verwaltet eine Hierarchie mit bis zu mehreren Hundert Bildschirmansichten, in denen die verschiedenen Abschnitte des Prozesses und/oder Gruppen von Prozessobjekten dargestellt werden.

Dennoch kann das Abrufen von Prozessinformationen sehr mühsam sein, denn Objektinformationen werden nach Industriestandards wie OPC für den Datenzugriff, Historien, Alarme und Ereignisse usw. an mehreren Orten (in sogenannten Repositories) gespeichert. Namenskonventionen für Objekte und ihre Werte oder Eigenschaften unterscheiden

Forschungsaktivitäten

sich von Anlage zu Anlage. Außerdem müssen häufig zusätzlich Wartungs- und Zustandsüberwachungsdaten abgerufen werden, um optimale Entscheidungen für den Betrieb treffen zu können.

Der Mensch im System

Das zentrale Problem besteht darin, dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, dieses Überangebot an Informationen zu bewältigen, ohne ihn aus dem Regelkreis auszuschließen. Gibt es eine Art der Kommunikation, bei der die Interaktion erleichtert wird und die Entscheidungsgewalt gleichzeitig beim Menschen bleibt? Eine Möglichkeit ist die Verwendung der natürlichen Sprache des Benutzers. Sie erfordert keine Ausbildung und fördert die Interaktion. Ein System, das in der Lage ist, die Fragen und Antworten aus den Sitzungen des Benutzers zu speichern, kann diese später in ähnlichen Situationen aufrufen und so eine persönliche Wissensdatenbank aufbauen. Dies kann bei der Fehlersuche unter Stress – insbesondere bei selten auftretenden Situationen – von großem Nutzen sein. Außerdem kann das Wissen von mehreren Anlagenfahrern, Schichten und sogar Anlagen gemeinsam genutzt werden. Mit anderen Worten, es ermöglicht den Aufbau eines informellen Wissensmanagementsystems, das ganz besonders dann von Nutzen ist, wenn langjährige qualifizierte Mitarbeiter mit ihrer Erfahrung dazu beitragen.

1 Webschnittstelle für das START-System



Verwandte Forschung

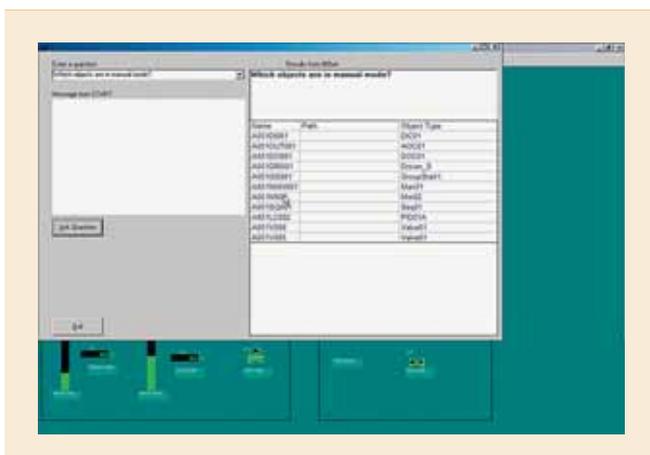
Die Vorteile von Abfragen mithilfe natürlicher Sprache werden besonders bei Systemen deutlich, die Informationen im Internet suchen. Ein gutes Beispiel hierfür ist das START-System [1]. Es beantwortet in natürlicher Sprache gestellte Fragen, indem es Textteile und Multimedia-Informationen aus einer Reihe von lokalen Informationsquellen oder Quellen im Internet abrufen, die strukturierte, halbstrukturierte und unstrukturierte Informationen enthalten. Das Ziel von START ist es, eine hohe Präzision bei der Beantwortung von Fragen zu erreichen. Dazu verwendet das System Annotationen in natürlicher Sprache, anhand derer die Fragen mit den möglichen Antworten abgeglichen werden [2]. Das Potenzial des START-Systems für die Industrieautomatisierung wurde in Gesprächen zwischen Forschern des CSAIL (Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory) am MIT und Gastwissenschaftlern von ABB entdeckt.

Innovativer Ansatz für die Industrieautomatisierung
ABB-Forscher haben die wichtigsten Arten von Informationsabfragen ermittelt und durch Befragungen in Kundenanlagen überprüft. Daraufhin wurden in enger Zusammenarbeit mit dem MIT XML-Schemata mit Klassen von Prozessobjekten entwickelt und der START-Server für diese Art der Abfragen angepasst [1]. Die derzeitige Entwicklung basiert auf Abfragen in englischer Sprache, doch die zu-

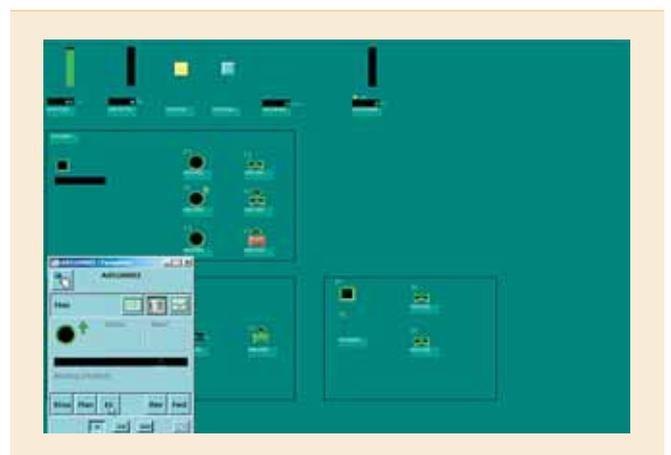
künftige Erweiterung des Systems auf andere Sprachen ist denkbar. Das Projekt konzentrierte sich zunächst auf vier Arten von Anfragen:
1) Zum Anzeigen aller Elemente einer Klasse (z. B. „Zeige alle Eingänge“)
2) Zum Anzeigen aller Elemente einer Klasse, die eine bestimmte Bedingung erfüllen (z. B. „Zeige alle Antriebe, die verriegelt sind“)
3) Zum Anzeigen aller Elemente einer Klasse zusammen mit verwandten Objekten einer anderen Klasse (z. B. „Zeige die Maßeinheit der Position für alle Regelventile“)
4) Zum Anzeigen aller Elemente einer Klasse, für die ein verwandtes Objekt eine bestimmte Bedingung erfüllt (z. B. „Welche digitalen Eingänge haben unquittierte Alarmer?“)

Das START-System des MIT übersetzt englische Anfragen in standardisierte symbolische Ausdrücke, die sich leicht in Datenbankabfragen umwandeln lassen.

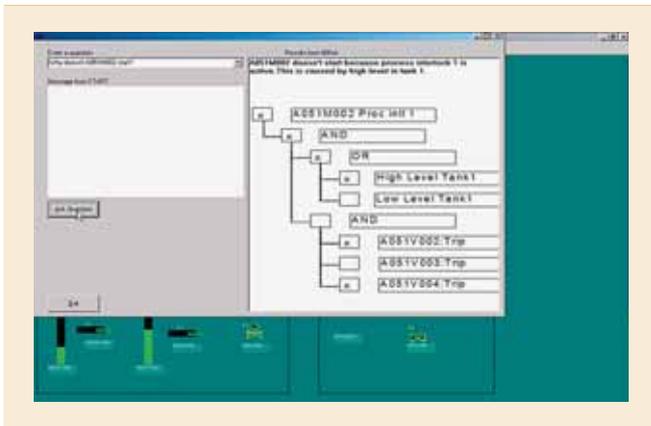
2 Beim Start eines Prozessabschnitts möchte der Bediener den Steuerungsmodus der betroffenen Objekte prüfen, bevor er die automatische Anlaufsequenz aktiviert.



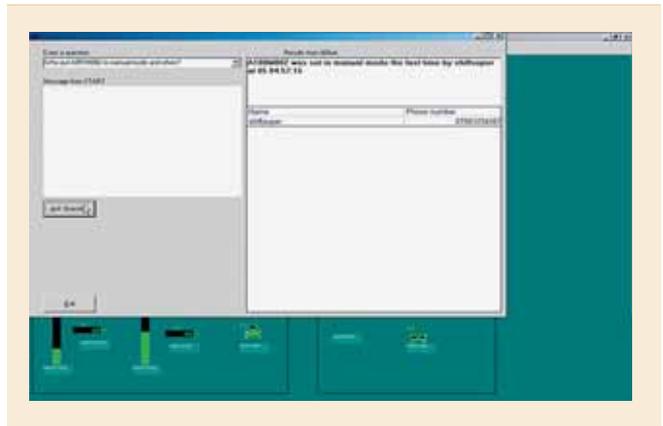
3 Der Motor, der sich laut natürlicher Sprachabfrage im manuellen Modus befindet, wurde nun über ein spezielles Fenster in den automatischen Modus versetzt.



- 4 Die Anlaufsequenz wurde abgebrochen.
Es bedarf nur einer einfachen Frage, um herauszufinden warum.



- 5 Das Problem ist gelöst, aber der Bediener möchte wissen, warum Motor A051M002 im manuellen Modus war. Das System nennt ihm den Verantwortlichen und seine Telefonnummer.



So wird zum Beispiel die englische Abfrage „What manual stations have active interlocks?“ (Welche manuellen Stationen haben aktive Verriegelungen?) von START in den folgenden Ausdruck übersetzt:

```
<?a, „is a“, „manual station“>
<?b, „is related to“, ?a>
<?b, „is a“, „interlock“>
<?b, „is“, „active“>
```

Dank der von START durchgeführten Standardisierung kann der menschliche Benutzer seine Abfragen in vielen Varianten eingeben. So würde START auch verschiedene Variationen der obigen Frage wie

- List the active interlocks for manual stations. (Liste die aktiven Verriegelungen für manuelle Stationen auf.)
- What are the interlocks that are active from each manual station? (Welches sind die aktiven Verriegelungen für jede manuelle Station?)
- List the active interlocks for manual stations (Liste die aktiven Verriegelungen für manuelle Stationen auf),
- Find the interlocks that are active for manual stations (Finde die Verriegelungen, die für manuelle Stationen aktiv sind) usw.

in den genannten Ausdruck übersetzen.

Als Testumgebung für diese Ideen wurde bei ABB das System 800xA verwendet. Seine flexible Softwarearchitektur ermöglichte eine relativ einfache Implementierung der Antworten auf die Abfragen. Außerdem wurde die bestehende GUI um eine einfache Dialogschnittstelle erweitert [2, 3]. Dieses Demonstrationssystem war über eine direkte On-

line-Verbindung mit dem angepassten START-Server am MIT verbunden.

Weitere Herausforderungen

Das Demonstrationssystem rief unter den Benutzern ein reges Interesse hervor und führte zu vielen Rückmeldungen. Welche tatsächlichen Vorteile das System im Einsatz bietet, hängt von der jeweiligen Branche und der Zielgruppe der Benutzer ab. Gelegentliche Benutzer wie Wartungstechniker und Bediener von flexiblen Prozessen sollten am stärksten von der Möglichkeit profitieren, Fragen in einfacher schriftlicher Form stellen zu können. Für regelmäßig geschultes Bedienpersonal von stark standardisierten Anlagen wird es wohl den geringsten Vorteil bieten, da die GUI des Systems 800xA für sie ausreichend Möglichkeiten zur grafischen Navigation in den Datenstrukturen bietet. Die vorrangige Herausforderung besteht in der halbautomatischen Erzeugung von Annotationen mit minimaler, datenorientierter manueller Führung. Besonders zur Verarbeitung von Abfragen wie den in 4 und 5 gezeigten müssen Annotationsverfahren auf höherer Ebene entwickelt werden, die es Anwendungsentwicklern ermöglichen, ganze Klassen von Erklärungsprozeduren mit wenigen beschreibenden Annotationen zu spezifizieren. Je nachdem, welche Art von Entscheidungen auf der Grundlage der Systemantworten getroffen werden soll, müssen die Annotationen und zugrunde liegenden Erklärungsprozeduren in der Lage sein, 100 %ig zuverlässige und vollständige Antworten zu liefern, damit das System überhaupt einen Wert hat. Bei derzeitigen Automatisierungssystemen

wird dies durch manuelle Konfiguration einer begrenzten Anzahl von Abfragen erreicht. Wenn Abfragen, die im Hinblick auf ihre korrekte Interpretation und Verarbeitung zum Beispiel zu 90 % vollständige Antworten liefern, nützlich und wertvoll sind, dann hat dieses Projekt bereits eine Anwendung gefunden. Wenn nicht, bleibt die Herausforderung bestehen. An zweiter Stelle stehen Herausforderungen wie die Erweiterung um andere Sprachen und Kommunikationsarten wie gesprochene Sprache. Keine dieser Herausforderungen ist zu unterschätzen, doch es sind bereits Technologien auf dem Markt, mit deren Hilfe dieser Prototyp derartige Aufgaben ausführen kann.

Juan S. Jaliff

Magnus Larsson

Morgan Johansson

ABB Corporate Research

Västerås, Schweden

juan.jaliff@se.abb.com

magnus.larsson@se.abb.com

morgan.e.johansson@se.abb.com

Boris Katz

Gary Borchardt

MIT Computer Science and

Artificial Intelligence Laboratory

Cambridge, Massachusetts, USA

boris@csail.mit.edu

borchardt@csail.mit.edu

Literaturhinweise

[1] <http://start.csail.mit.edu/>

[2] Boris Katz, Gary Borchardt, Sue Felshin: „Natural Language Annotations for Question Answering“, Proceedings of the 19th International FLAIRS Conference (FLAIRS 2006), Mai 2006

Erweiterte Realität

Verknüpfung von Informationen mit der realen Welt
Tom Drummond

Die Lautstärke eines Fernsehers einzustellen mag recht intuitiv erscheinen. Doch wenn man erst aus mehreren Fernbedienungen die richtige auswählen muss, bleibt einem manchmal nichts anderes übrig, als alle auszuprobieren.

In der Industrie gibt es ähnliche Situationen. Selbst gut ausgebildeten und erfahrenen Bedienern fällt es manchmal schwer, zur gewünschten Funktion den entsprechenden Schalter zu finden. Kommt es zu einer kritischen Situation, die in der Form nicht so häufig auftritt, kann bei der Suche nach dem richtigen Schalter wertvolle Zeit verloren gehen.

Anders als der Griff zur falschen Fernbedienung im Wohnzimmer, bei dem höchstens Zeit verloren geht oder Ärger entsteht, können Fehler in einem industriellen Umfeld schwerwiegende und teure Folgen haben. Es stellt sich also die Frage, ob es eine bessere Möglichkeit gibt, die erforderlichen Informationen zur Verfügung zu stellen.

Die meisten technischen Lösungen von heute enthalten eine Softwarekomponente. Von Fernsehern über Autos und Küchengeräten bis hin zu großen Industrieanlagen – in allem ist ein Computer enthalten. Eine moderne Kreditkarte verfügt über einen eingebetteten Mikroprozessor und ausreichend Software, um ein Dateisystem zu betreiben, den Eigentümer zu authentifizieren und digitale Signaturen für finanzielle Transaktionen zu erstellen. Diese Allgegenwart von Computern in technischen Geräten hat dazu geführt, dass die entsprechende Software immer komplexer wird.

So wie beim Engineering mathematische Modelle eines Problems und seiner Umgebung erstellt werden, ist auch in der Softwaretechnik die Erstellung von Modellen der realen Welt erforderlich. Die Software einer Kreditkarte enthält zum Beispiel Darstellungen finanzieller Transaktionen (Wer zahlt wem wie viel?), des Eigentümers (Name und Rechnungsadresse) und der Authentifizierung (Hat sich der Benutzer authentifiziert, und was muss er dafür tun?).

Diese steigende Komplexität bringt eine Reihe von Problemen mit sich. Diese entstehen unter anderem daraus, dass die Bezüge zwischen dem Modell

der Welt in der Software und der realen Welt (bzw. dem Modell des Benutzers von der Realität) nicht immer offensichtlich sind.

Dies zeigt sich zum Beispiel, wenn die Software einen internen Zustand besitzt, der für den Benutzer nicht sichtbar oder erkennbar ist. Ein Beispiel hierfür ist ein softwaregesteuerter Blinker im Auto. Hier wird der Zustand nicht durch die Stellung des Blinkerhebels (oben = rechts; unten = links; Mitte = aus) angezeigt. Stattdessen kehrt bei diesen Systemen der Hebel in die Mittelstellung zurück, sobald er losgelassen wird. Die Richtung, in die er

gedrückt wurde, wird lediglich von der Software gespeichert. Das gleiche gilt für die Kraft, mit der er betätigt wurde (leicht = nur einige Male während des Spurwechsels Blinken, dann automatisch abschalten; fest = blinken, bis der Fahrer den Blinker durch leichten Druck in die andere Richtung ausschaltet). Das Problem ist, dass der Fahrer nicht zwangsläufig weiß, welcher dieser beiden Modi aktiviert ist, da das anfängliche Verhalten (der Blinker wird aktiviert) immer gleich ist. Glaubt der Fahrer irrtümlicherweise, der „leichte Modus“ sei aktiviert, bleibt der Blinker länger aktiviert als nötig. Ist er umgekehrt der fälschlichen Ansicht, der „feste Modus“ sei aktiviert, blinkt das Fahrzeug in die falsche Richtung, sobald er den Blinker ausschalten will.

Eine anderes Beispiel dafür, wie eine erhöhte Komplexität zu Problemen führen kann, ist das sogenannte *Bindungsproblem*.

Das Bindungsproblem

Ein klassisches Beispiel für dieses Problem tritt in großen Räumen mit vielen Lichtschaltern auf. Der Benutzer will eine bestimmte Lampenreihe (z. B. nahe einer Projektionswand) ausschalten, wird jedoch mit einem ganzen Schalterfeld konfrontiert. Woher soll er wissen, welcher Schalter zu welcher Lampe gehört? (Der übliche Ansatz besteht darin, alle nacheinander auszuprobieren, bis das gewünschte Resultat erreicht ist.) Dieses Problem tritt auf, weil die *Bindung* zwischen den Schaltern und den Lampen nicht offensichtlich ist. Hinzu kommt, dass solche Räume von den betreffenden Personen meist nur gelegentlich genutzt werden, wodurch es schwerfällt, sich die Bindung zu merken.

Das Wohnzimmer des Autors liefert ein weiteres typisches Beispiel. Auf dem Tisch neben dem Sofa liegt ein kleiner Berg aus sechs Fernbedienungen für den Fernseher, den Videorecorder, den CD-Spieler, den Netzwerk-Musikspieler sowie den Kabel- und den Digitalempfänger. Für Besucher ist es fast unmöglich, die Fernbedienungen den Geräten zuzuordnen (tatsächlich haben auch einige Mitglieder des Haushalts Probleme damit). Dies liegt wiederum daran, dass die Bindung nicht offensichtlich ist. Eine Universal-Fernbedienung könnte die Situation leicht verbessern, doch

auch damit muss zunächst das richtige Gerät bestimmt werden, wenn man zum Beispiel zum Telefonieren den Ton abstellen möchte **1**.

Jeder, der einmal in einer bergigen Gegend gewandert ist, weiß, dass das Lesen von Landkarten eine echte Herausforderung darstellen kann. So ist es möglich, selbst bei klarer Sicht auf die Landschaft und die Karte desorientiert zu sein, weil die Bindung zwischen den realen Bergen und deren Abbildung auf der Karte nicht immer offensichtlich ist.

Bei Leitsystemen für große Industrieanlagen tritt das Bindungsproblem ebenfalls auf. Normalerweise stellt das System dem Bediener topologische Ansichten der Anlage zur Verfügung. Diese beziehen sich nicht selten auf Zehntausende von Tags, von denen jedes einer bestimmten Komponente oder einem Ort in der Anlage zugeordnet ist. Bei vielen der vom Leitsystem generierten Alarme muss ein Anlagenfahrer in der Leitwarte per Funk mit einem Kollegen in der Anlage kommunizieren, um sicherzustellen, dass er sich die richtigen Anlagenteile ansieht. Das bedeutet, dass die beiden Benutzer die Bindung zwischen der riesigen Datenbank von Tags und den dazugehörigen realen Anlagenteilen „manuell“ herstellen müssen.

Diese Komplexität in der menschlichen Interaktion wirkt sich nicht nur auf den Schulungsaufwand, sondern auch auf die Reaktionszeit in Situationen aus, die nicht so häufig auftreten.

Augmented Reality-Schnittstellen

Eine mögliche Lösung für das Bindungsproblem liegt in der Nutzung neuester Entwicklungen auf dem Gebiet der

sogenannten erweiterten Realität (Augmented Reality, AR). Diese bieten Softwareentwicklern die Möglichkeit, die Funktionen einer herkömmlichen, normalerweise bildschirmgebundenen grafischen Benutzeroberfläche (Graphical User Interface, GUI) überall auf der Welt verfügbar zu machen.

Dies wäre einfach, wenn die ganze Welt mit Eingängen für computerbasierte Daten und Ausgängen für grafische Anzeigen ausgestattet wäre. Da dies jedoch nicht der Fall ist, wird eine spezielle Hardware dazwischen benötigt. In den Anfangstagen der AR wurden hierfür üblicherweise Head-mounted Displays (HMDs) verwendet. Diese am Kopf befestigten Displays sind halbdurchsichtig, sodass vom Computer erzeugte Grafiken in das Sichtfeld des Benutzers projiziert werden können. So lassen sich beliebige Grafiken über reale Objekte legen. Wenn die Kopfbewegung des Benutzers mit ausreichender Präzision erfasst (Tracking) und das Display entsprechend schnell aktualisiert werden kann, wirken die Grafiken wie ein stabiler Teil der realen Welt.

Eines der ersten Beispiele für AR wurde bei Boeing realisiert, um die Herstellung von Kabelbäumen für Flugzeuge zu unterstützen. Diese Kabelbäume wurden normalerweise auf Stecktafeln vorbereitet, auf denen jedes einzelne Kabel aufgedruckt war. Somit war für jedes Flugzeug eine eigene Tafel erforderlich. Bei der AR-Lösung trägt der Techniker ein HMD, das ihm die Lage jedes Kabels auf einer generischen Stecktafel anzeigt. Dies ermöglicht nicht nur erhebliche Einsparungen bei der Lagerung der Steckbretter, sondern bietet noch eine Reihe weiterer Vorteile. So lassen sich Designveränderungen zum Beispiel viel einfacher umsetzen, da die flugzeugspezifischen Informationen nur im Computer gespeichert sind und nicht auf die Tafeln gedruckt werden müssen. Ferner ist das HMD aufgrund seiner dynamischen Fähigkeiten in der Lage, dem Benutzer einzelne oder mehrere Drähte gleichzeitig darzustellen.

Genauso könnte man sich vorstellen, dass einem Wanderer per HMD die Namen der einzelnen Berge (oder Koordinaten) eingeblendet werden. Oder der Autor könnte in seinem

1 Welche Fernbedienung gehört zu welchem Gerät? Ein einfaches Beispiel für das Bindungsproblem.



Forschungsaktivitäten

Wohnzimmer ein HMD verwenden, das ihm die richtige Fernbedienung anzeigt, wenn er mit einem Zeigegerät auf das entsprechende Gerät klickt...

Oder sind diese Beispiele doch etwas weit hergeholt? Es ist in der Tat schwer vorstellbar, dass ein Wanderer sich freiwillig den Blick auf die Natur und die Landschaft durch ein klobiges HMD versperren lässt. Und wenn jemand im Wohnzimmer ein HMD trägt, würden sich die Familienmitglieder sicherlich bald über die soziale Beeinträchtigung beschweren.

Außerdem sind HMDs in ihrer Funktion als AR-Benutzerschnittstellen noch mit einer ganzen Reihe von Problemen verbunden. Sie können normalerweise nur einen relativ kleinen Sichtbereich abdecken und sind noch immer recht

teuer. Ein See-through-HMD, das 60° des Sichtbereichs abdeckt, ist inzwischen für ca. 35.000 Dollar (27.000 Euro) erhältlich.

Solche Geräte müssen für jeden Benutzer eigens kalibriert werden, damit reale und virtuelle Objekte in korrekter Ausrichtung zueinander erscheinen. Und schließlich ist eine gewisse Verzögerung unvermeidbar. Das bedeutet, dass die Computergrafiken bei jeder Kopfbewegung der tatsächlichen Bewegung in der Regel um mindestens 100 ms nacheilen. Dies reicht aus, um starke Übelkeit hervorzurufen, sodass der Einsatz solcher Displays auf wenige Minuten am Stück beschränkt ist.

Handheld AR

Derartige Probleme mit HMDs haben die Forscher dazu bewogen, andere Medien zur Realisierung von AR-Schnittstellen in Betracht zu ziehen. Die beliebteste Alternative ist Handheld AR [2]. Hierbei wird eine Videokamera an einem tragbaren Bildschirm montiert, der als Sucher für die Kamera fungiert. AR wird implementiert, indem das aktuelle Videobild zwischen der Kamera und dem Bildschirm bearbeitet und mit virtuellen grafischen Objekten und Elementen einer Benutzeroberfläche versehen wird.

Diese Handgeräte lösen die meisten Probleme von HMDs. Sie sind kostengünstig, niemand stört sich an kleinen Verzögerungen, mit einem Weitwinkelobjektiv können große Sichtbereiche abgedeckt werden, und sie können in der Tasche transportiert und bei Bedarf zur Hand genommen werden. Außerdem haben sie den Vorteil, dass herkömmliche zweidimensionale Elemente von Benutzeroberflächen einfach in eine Anwendung integriert werden können.

Im Wohnzimmer des Autors könnte jeder ein solches Handgerät nehmen, es auf die Unterhaltungselektronik richten und ein Livebild davon auf dem Bildschirm sehen. Mit einem Stift könnte diese Person auf das Bild des CD-Spielers klicken, worauf eine herkömmliche GUI zur Bedienung des Geräts angezeigt wird.

Auf ähnliche Weise könnten sich Bediener in einer Industrieanlage grafische Navigationsinformationen über

dem tatsächlichen Bild der Umgebung anzeigen lassen, um zu sehen, welches physische Objekt zu einem bestimmten Datentag gehört. Umgekehrt könnten auch topologische Ansichten, Wartungsinformationen, Trendkurven von Sensoren oder andere wertvolle Informationen per Mausklick über das Livebild eines Objekts geblendet werden. Darüber hinaus kann ein solches Gerät dazu dienen, den Kommunikationskanal zwischen zwei Bedienern über die bisherige akustische Kommunikation hinaus um geografisch registrierte räumliche Informationen zu erweitern.

Was ist zu tun?

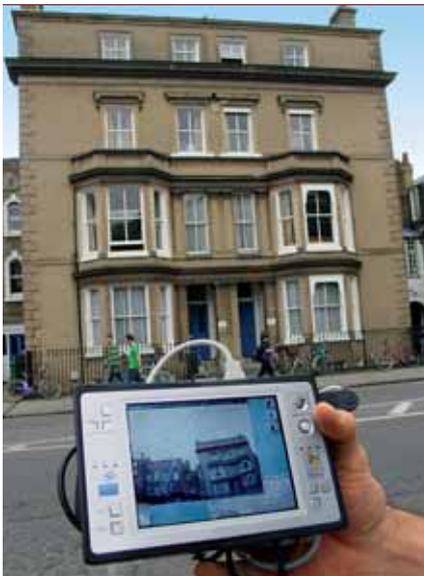
Noch stecken derartige Geräte in den Kinderschuhen, und ein erheblicher Forschungsaufwand wird in die Entwicklung der erforderlichen Tracking-technologie investiert. Die vielversprechendsten Prototypen verbinden mehrere Technologien wie Trägheitssensoren zur Ergänzung des maschinellen Sehens (Computervision) oder die Lokalisierung per GPS- und Ultrabreitband-Technologie (UWB).

Diese Ansätze haben die Robustheit und Präzision, mit der diese Systeme arbeiten, erheblich verbessert. Die von ABB unterstützte Forschungsarbeit des Autors befasst sich mit der Darstellung von Modellen der realen Welt und deren Anpassung an das Livebild einer Videokamera mit dem Ziel, bei Bedarf einen robusten und zuverlässigen Einsatz der AR in großräumigen Umgebungen wie komplexen Industrieanlagen zu ermöglichen.

Die möglichen Vorteile, die sich daraus ergeben könnten, sind beträchtlich. Mithilfe der Augmented Reality lässt sich das Bindungsproblem lösen, indem die reale Welt als Index für die Datenbank mit Computersystemkomponenten fungiert. Damit werden wiederum mit den räumlichen Fähigkeiten des Menschen eine der großen Stärken des Menschen genutzt, die in herkömmlichen Softwaresystemen ungenutzt bleiben.

Tom Drummond
Cambridge University
Cambridge, Großbritannien
twd20@hermes.cam.ac.uk

2 Handheld AR kann die Navigation vereinfachen



Infobox Über den Autor

Dr. Tom Drummond ist Senior Lecturer im Machine Intelligence Laboratory des Department of Engineering an der Cambridge University und Fellow am St. Catharine's College. Er erhielt seinen Ph.D. von der Curtin University in Westaustralien. Zu seinen Forschungsgebieten gehören die Echtzeit-Computervision, Sensorfusion mit Schwerpunkt auf Anwendungen für visuell geführte Roboter und Augmented Reality-Benutzerschnittstellen.



Pionierleistungen

Nils Leffler

Das Unternehmen ABB entstand 100 Jahre nach der Gründung der beiden Mutterunternehmen BBC und ASEA. Im Laufe dieses Jahrhunderts hat die Elektrifizierung die Welt der Industrie drastisch verändert, vorangetrieben von einer Handvoll Unternehmen, die im späten 19. Jahrhundert gegründet wurden. Dabei waren die theoretischen Grundlagen der modernen Elektrotechnik bereits im 18. Jahrhundert von Wissenschaftlern wie Franklin, Faraday, Ampère, Volta und Ohm gelegt worden. Mit der Einführung der Telegrafie um 1830 wurde diese Energieform erstmals in Form einer Niederspannungsanwendung genutzt. Auch in den darauffolgenden 50 Jahren basierten Unternehmensgründungen vornehmlich auf der Niederspannungstechnik. Durch die Erfindung der Lichtbogenlampe wurde die Welt erleuchtet – wenn auch zunächst nur außerhalb geschlossener Räume. Die Glühlampe (1878–79) von Thomas A. Edison ermöglichte später auch die Beleuchtung von Innenräumen. Einer der wenigen Hersteller von Niederspannungstechnik, die gegen 1880–1890 ihre Produktpalette um Hochspannungsprodukte erweiterten, war Siemens & Halske. Für die meisten anderen blieben Gleichstromgeneratoren und Beleuchtungssysteme das Kerngeschäft, und eine Verzweigung in den riskanten Hochspannungsbereich galt als unattraktiv. So blieb es neuen Unternehmen überlassen, den Schritt auf dieses neue Terrain zu wagen. Diese Unternehmen wurden häufig von Ingenieuren auf der Grundlage von Patenten oder neuen Entwicklungen gegründet. Schnell waren es deutsche und US-amerikanische Firmen, die in dieser neuen Branche die Vormachtstellung eroberten.

ABB Technik 1/2007

Die Westinghouse Electric and Manufacturing Company wurde 1884 als Hersteller von elektrischen Maschinen gegründet und entwickelte sich bald zum führenden Anbieter von Wechselstrom-Übertragungstechnik. Der Zusammenschluss mehrerer Edison-Tochterunternehmen und die Fusion mit Thomson-Houston führten im Jahr 1892 zur Gründung von General Electric. In Deutschland war Siemens sowohl im Nieder- als auch im Hochspannungsbereich erfolgreich. Der deutsche Zweig von Edison wurde ab 1887 als AEG bekannt und etablierte sich durch seine Pionierarbeit im Bereich des Dreiphasen-Wechselstroms als international bedeutendes Unternehmen.

Der Zusammenschluss zu immer größeren Unternehmen war nicht nur auf die Internationalisierung des Geschäfts,

PIONIERLEISTUNGEN

sondern auch auf die Höhe der Investitionen zurückzuführen, die zum Bau und zur Entwicklung der Infrastruktur für die Übertragung und Verteilung der Elektrizität an Industrien und Haushalte erforderlich waren. Da sich Elektrizität leicht in andere Energieformen wie Wärme, Licht und Bewegung umwandeln lässt und zudem mit geringen Verlusten über größere Entfernungen transportiert werden kann, wurde sie zur Triebfeder der Industrialisierung. Zunächst fand der elektrische Strom hauptsächlich im Transportwesen (Straßenbahnen), in der Metallurgie und in elektrochemischen Prozessen Verwendung. Die ersten Verteilungssysteme basierten auf Gleichstrom, bei dem die Quelle und der Verbraucher aufgrund der über längere Strecken stark ansteigenden Verluste höchstens einige Kilometer voneinander entfernt sein durften. Mit einer höheren Spannung ließen sich diese Verluste zwar verringern, doch weder Generatoren noch elektrische Maschinen konnten mit diesen hohen Spannungen arbeiten. Die Technologie förderte die Entwicklung kleiner Erzeugungseinheiten in der Nähe der Verbraucher, was sich jedoch bald als unpraktisch und unwirtschaftlich erwies.

Wechselstrom kann bei hohen Spannungen mit geringen Verlusten über weite Strecken übertragen werden.

Und er lässt sich in beide Richtungen transformieren, d. h. er kann mit niedriger Spannung erzeugt und genutzt und mit hoher Spannung übertragen werden. Gegen Ende der 1880er Jahre gab es noch keinen praktisch nutzbaren Wechselstrommotor, und die Wechselstromtechnik galt als gefährlich und schwierig. In den 1890er Jahren erkannten ungefähr zur gleichen Zeit mehrere Entwickler die Lösung im Dreiphasen-Wechselstrom. Die erste Drehstrom-Übertragungsleitung wurde am 24. August 1891 in Deutschland zwischen Lauffen und Frankfurt in Betrieb genommen (175 km, 30.000 Volt).

Damit war der Weg für die rapide Ausbreitung elektrischer Anwendungen in der Industrie geebnet. Die neue Technologie ermöglichte die Nutzung zentraler Generatoren, die Kopplung von Netzen mit unterschiedlichen Spannungspegeln und die sanfte Transformation des Stroms auf das gewünschte Spannungsniveau. Mittlerweile hatten die Ingenieure gelernt, die Leistung und Materialanforderungen der Betriebsmittel genauer zu berechnen. Elektrische Maschinen für viele verschiedene Anwendungsbereiche wurden konstruiert, und die Sicherheit durch Leistungsschalter und Schaltanlagen erhöht.

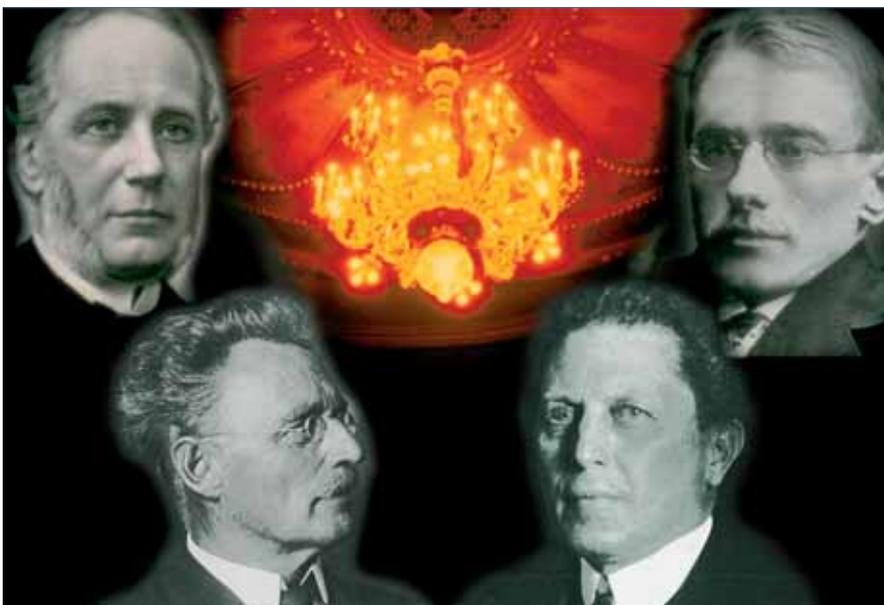
Durch die Unternehmen Oerlikon (1882) und Brown Boveri (1891) ent-

wickelte sich die Schweiz mit ihrem kleinen heimischen Markt überraschend früh zu einem führenden Lieferanten für Hochspannungstechnik. Bei Oerlikon trafen sich auch die beiden jungen Ingenieure Charles E. Brown und Walter Boveri, die dort ihre ersten Erfahrungen sammelten. Bald darauf fassten sie den Entschluss, in Baden ihr eigenes Unternehmen zu gründen, das unter dem Namen BBC (Brown, Boveri & Cie) schnell zu einem bedeutenden Arbeitgeber mit einer breiten Produktpalette an elektrotechnischen Produkten und Systemen heranwuchs.

Zur gleichen Zeit arbeiteten in Schweden mehrere internationale Unternehmen wie AEG und Siemens an der Elektrifizierung des Landes. Das einzige heimische Unternehmen mit größerem Einfluss war ASEA. Das Unternehmen war 1890 in Västerås entstanden, aber seine Wurzeln reichen zurück bis zur Gründung der beiden Mutterunternehmen im Jahr 1883. Die zentralen Figuren bei der Formierung von ASEA waren der Erfinder Jonas Wenström und der Industrielle Ludvig Fredlund. Genau wie bei BBC umfasste die Produktpalette von ASEA Turbogeneratoren und Stromrichter, elektrische Geräte für die Energieübertragung und -verteilung wie Transformatoren, Leistungsschalter und Schaltanlagen, umlaufende elektrische Maschinen usw.

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts berichten die ABB Technik und ihre Vorgängerzeitschriften über die Elektrifizierung und ihre praktische Umsetzung in der Industrie. Das Archiv liefert einen faszinierenden Einblick in die Entwicklung grundlegender Produkte und Lösungen, die noch immer eine entscheidende Rolle für den Markterfolg von ABB spielen. Wir beginnen unsere Reihe von Artikeln über Pionierleistungen mit einem Blick in die Geschichte des Leistungsschalters, einer Schlüsselkomponente in vielen elektrischen Anlagen.

Oben: Ludwig Fredlund (1830–1891) und Jonas Wenström (1855–1893)
Unten: Charles E. Brown (1863–1924) und Walter Boveri (1865–1924)



Nils Leffler
ABB Review
Dättwil, Schweiz
nils.leffler@ch.abb.com

Der Leistungsschalter

Ein Musterbeispiel für industrielle Produktentwicklung

Fritz Pinnekamp



In den vergangenen 100 Jahren hat sich die Elektrizität zum flexibelsten und zuverlässigsten Energieträger der Welt entwickelt. Der weltweite Bedarf steigt kontinuierlich, und in vielen Ländern ist der Ausbau der Stromversorgung direkt mit dem Bruttoinlandsprodukt verknüpft.

Zwar ist die bestehende Infrastruktur zur sicheren Verteilung des elektrischen Stroms äußerst zuverlässig, doch immer größere Netze und neue Generatortypen stellen die Netzbetreiber vor neue Herausforderungen. Der folgende Artikel beschreibt die Entwicklung des Leistungsschalters – einer unverzichtbaren Komponente von Stromnetzen – unter besonderer Berücksichtigung der Errungenschaften von ABB und ihren Vorgängerunternehmen ASEA und Brown Boveri, zwei bedeutenden Pionieren auf dem Gebiet der Energietechnik.



Leistungsschalter sind für den sicheren Betrieb eines Stromnetzes von entscheidender Bedeutung. Sie werden benötigt, um an Generatoren die gesamte Leistung eines Kraftwerks (im Gigawattbereich) ein- und auszuschalten und um in Unterstationen bei Spannungen von über 1.500 kV den Leistungsfluss in den Übertragungsleitungen zu lenken. Außerdem spielen sie eine wichtige Rolle in Verteilnetzen, wo sehr hohe Ströme bei mittleren Spannungen geschaltet werden müssen.

Unabhängig von seiner Position im Netz hat ein Leistungsschalter zwei Aufgaben: das tägliche Schalten von Leitungen im normalen Betrieb und die Unterbrechung der Stromversorgung im Falle einer Überlastung oder eines Kurzschlusses. Ein solcher Leistungsschalter ist in der Lage, innerhalb von Sekundenbruchteilen Leistungen von mehreren GVA zu „bändigen“. Die Bedeutung des Leistungsschalters ist so groß, dass in den vergangenen 100 Jahren zig Milliarden Dollar in seine Entwicklung geflossen sind.

Herausforderungen eines Leistungsschalters

Die Übertragung des elektrischen Stroms vom Kraftwerk zum Verbraucher erfolgt über metallische Leiter, die besonders als Freileitungen sichtbar sind. Soll der Stromfluss unterbrochen werden, muss die Leitung getrennt werden. Das ist kein Problem, solange kein Strom fließt, aber äußerst schwierig, wenn die Leitung unter Spannung steht. Beim Trennen einer spannungs-

Fußnote

¹⁾ Leistungsschalter, in denen sich keine freien Lichtbögen bilden, d. h. Geräte auf der Basis von Leistungshalbleitern, funktionieren bei niedrigen Leistungen sehr gut, erfordern jedoch noch weitere Entwicklungsarbeit für einen umfassenderen Einsatz.

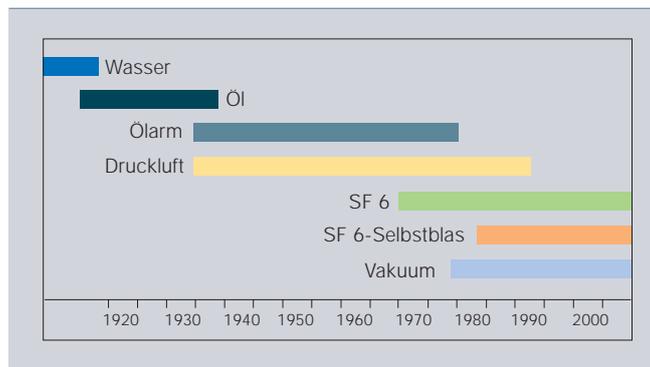
PIONIERLEISTUNGEN

führenden Leitung wird der Strom durch einen immer kleiner werdenden Querschnitt gezwungen. Durch diese Konzentration des Stroms heizt sich der verbleibende Leiter auf und verdampft schließlich. Doch selbst wenn die Leitung vollständig getrennt ist, kann der Strom weiter durch einen Lichtbogen fließen, der sich aus ionisierten Gasen (Plasma) zwischen den offenen Kontakten bildet. Um den Strom endgültig zu unterbrechen, muss dieser Lichtbogen gelöscht werden. Während sich eine Reihe von raffinierten Lösungen mit der Geschwindigkeit befasst, mit der die schweren Metallkontakte in einem Leistungsschalter voneinander getrennt werden müssen, um die entsprechende Wirkung zu erzielen, konzentriert sich dieser Artikel auf die technischen Fortschritte, die in der Beherrschung von Lichtbögen gemacht wurden.

Lichtbögen haben eine enorme Energie. Bei Temperaturen von über 50.000 °C und einem Volumen von weniger als einem Liter können Drücke von bis zu 100 MPa auftreten. Um diese Energie abzuleiten, wurden Leistungsschalter im Laufe der Jahre mit einer Vielzahl verschiedener Medien wie Wasser, Öl, speziellen Gasen und Druckluft gefüllt. Die extreme Hitze des Lichtbogens kann entweder mithilfe eines hochverdichteten Gases oder durch einen Gasstrom abgeführt werden, der durch das Verdampfen des Mediums bei der Bildung des Lichtbogens selbst entsteht.

Das Gehäuse des Leistungsschalters spielt ebenfalls eine wichtige Rolle für die Wirksamkeit des Schalters. So kann es zum Beispiel verwendet werden, um den heißen Gasstrom zu lenken. Es gibt verschiedene Ansätze, die Wärmeabfuhr zu verbessern, zum Beispiel durch die Verwendung von Werkstoffen, die teilweise in der Hitze verdampfen. **1** zeigt einen Überblick über die verschiedenen Arten von Leistungsschaltern, die in den letzten 100 Jahren von ASEA, Brown Boveri und später von ABB verwendet wurden¹⁾. Am Anfang der Entwicklung standen wasser- und ölgefüllte Leistungs-

1 Vorherrschende Leistungsschalterarten der letzten 100 Jahre



ter, die für sehr niedrige Ströme und Spannungen ausgelegt waren. **2** zeigt einen frühen ölgefüllten Leistungsschalter. Bei diesen Schaltern befinden sich die Kontakte in einem großen Tank, der mit dem jeweiligen Medium gefüllt ist. In diesem Fall führt der Lichtbogen zur Ionisation des Mediums und zur Bildung von Wasserstoffgas. Nähert sich der Strom dem Nulldurchgang (d. h. alle 10 ms bei 50-Hz-Wechselstrom), wird der gasgefüllte Lichtbogenkanal durch den hohen Druck des verdampften Mediums zusammengedrückt. Dadurch verliert das Medium zwischen den sich öffnenden Kontakten den größten Teil seiner Leitfähigkeit, und der Lichtbogen erlischt. Da für diese Art von Schalter große Mengen des jeweiligen Mediums erforderlich sind, waren sie relativ sperrig. Und wenn ein ölgefüllter Leistungsschalter den Strom nicht unterbrechen konnte, bestand eine erhebliche Explosions- und Brandgefahr. Trotz dieser Risiken blieb Öl ein beliebtes Medium, und

2 Einpoliger Freiluft-Ölschalter aus dem Jahr 1923 für 110 kV, 360 A



ölarme Leistungsschalter, die auf diesen klobigen frühen Modellen basierten, wurden bis in die 1980er Jahre eingesetzt. Das Grundprinzip des ölarmen Leistungsschalters ist in **3** dargestellt. Bildet sich im Öl ein Lichtbogen, verdampft das Medium, und es entsteht eine Blase um den Lichtbogen. Dieses stark verdichtete Gas, das zu fast 80 % aus Wasserstoff besteht, hemmt die Ionisation und strömt durch die Kanäle, die den

Lichtbogen umgeben. Dabei verstärkt es die Wärmeströmung (Konvektion) im Öl, was dabei hilft, die Reste des Lichtbogens um den Nulldurchgang zu kühlen. Dieses Prinzip der lichtbogeninduzierten Konvektion wurde später auch im Leistungsschalter mit Selbstblastechnik verwendet.

Ölarme Leistungsschalter funktionieren am besten bei hohen Strömen, die einen schnellen Druckanstieg und eine starke Konvektion bewirken. Bei niedrigeren Strömen kann sich im Normalbetrieb der Selbstblaseffekt nur dann vollständig entwickeln, wenn die Konvektion mithilfe eines beweglichen Kolbens unterstützt wird **4**.

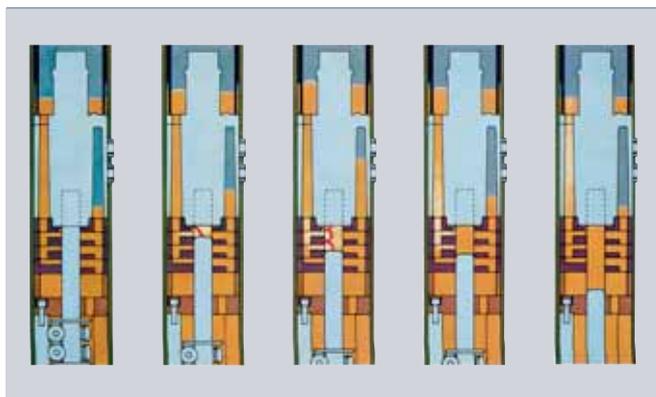
Beim Öffnen dieser Schalter bildet sich ein Lichtbogen, und der Druck in der oberen Kammer steigt an, sodass sich der Kolben zwischen den beiden Kammern bewegt. An einem bestimmten Punkt passiert eine Öffnung im Kolben den sich bewegenden Kontakt. Dies verursacht einen starken axialen Ölfluss aus der unteren Kammer, der den Lichtbogen kühlt.

Wie die relativen Verkaufszahlen um 1940 **5** zeigen, verbreitete sich der ölarme Leistungsschalter aufgrund seiner offensichtlichen Vorteile rasch und verdrängte schließlich den herkömmlichen ölgefüllten Schalter.

Als guter elektrischer Isolator ist Öl in der Lage, die Netzspannung zwischen den Kontakten bei geöffnetem Schalter zu isolieren. Mit Luft kann eine vergleichbare Isolation nur erreicht werden, wenn diese auf mehrere MPa verdichtet wird. Der Einsatz solcher hoher Drücke in Druckluftschaltern machte ein neues Schaltkammerdesign erforderlich, das parallel zu dem des ölgefüllten Schalters in den ersten Jahrzehnten der Elektrifizierung entwickelt wurde.

PIONIERLEISTUNGEN

3 Schaltvorgang beim Öffnen der Kontakte eines ölarmen Leistungsschalters bei Kurzschlussstrom (1976)



Bei Druckluftschaltern wird der Lichtbogen durch die Konvektion gekühlt, die durch die großen Druckunterschiede zwischen dem Schalterinneren und der Umgebungsluft entsteht. Dazu wird ein Ventil geöffnet, und Druckluft strömt mit hoher Geschwindigkeit aus der Kammer. Eine entscheidende Komponente beim Design des Schalters war die korrekte Positionierung des Lichtbogens für eine optimale Nutzung des starken Luftstroms. Hierzu wurden verschiedene Düsenkonstruktionen getestet. Schließlich entschied man sich für eine axiale Strömung ähnlich der in der Verdichtungskammer des ölarmen Leistungsschalters.

Sowohl Druckluftschalter als auch ölarme Leistungsschalter hatten ihre Vor- und Nachteile. Der ölgefüllte Schalter – besonders der mit Selbstblastechnik – war einfach aufgebaut und konnte mit geringer mechanischer Kraft betrieben werden. Doch die Handhabung des Öls als Medium war nicht unproblematisch. Es stellte ein Brandrisiko dar und erforderte einen höheren Wartungsaufwand. Druckluftschalter hingegen benötigten leistungsstarke Kompressoren und waren sehr laut im Betrieb. Andererseits konnte der hohe Druck zum Antrieb der Kontakte verwendet werden, und Systeme mit Druckluft waren wesentlich sauberer und leichter zu warten als ihre ölgefüllten Gegenstücke.

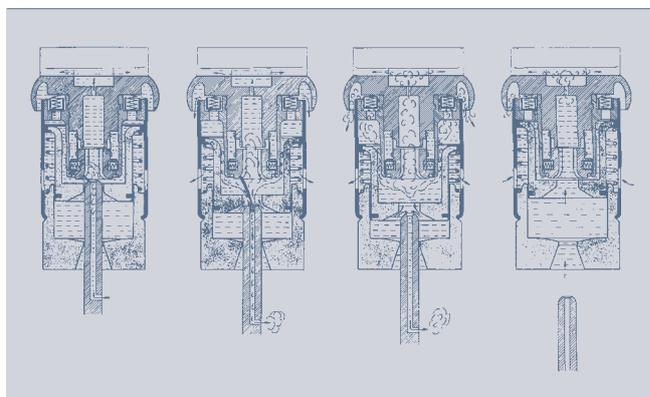
Die Druckluftschalter kamen auf dem Markt sehr gut an, und zwischen 1967 und 1971 stieg der Absatz jährlich um 20 %. Doch die parallele Entwicklung zweier Schalterprinzipien polarisierte die Fachwelt – selbst bei den Herstellern war man sich nicht einig – und

der Wettbewerb zwischen den beiden Lagern wurde mit nahezu religiösem Eifer ausgetragen. Im Jahr 1955 behaupteten einige Ingenieure, der Leistungsschalter mit Selbstblastechnik sei „besser als jeder andere Schalter für Hochspannungen bis 380 kV“. 1978 sagten wiederum andere: „Der ölarme Leistungsschalter hat die Druckluftwelle, die nun der Vergangenheit angehört, überlebt, und er wird zweifellos auch von SF₆ [Schwefelhexafluorid] nicht erstickt werden.“ Der Markt hat schließlich beide Meinungen widerlegt, denn die SF₆-Lösung ist mittlerweile beliebter als ihre beiden Vorgänger.

SF₆ ist ein Inertgas, das selbst bei relativ niedrigem Druck (d. h. 0,5 MPa) sehr gute Isolationseigenschaften besitzt. Dieser niedrige Druck ist von entscheidender Bedeutung, da sich SF₆ bei höherem Druck verflüssigt und nicht mehr auf den Lichtbogen wirken könnte. Das Funktionsprinzip des SF₆-Leistungsschalters ist in 4 dargestellt. Der bewegliche Kontakt ist mit einer Düse und einem Zylinder verbunden. Dieser bildet den Kolben, der das SF₆-Gas beim Bewegen der Kontakte verdichtet. Wenn sich der Lichtbogen bildet, kann das kalte SF₆-Gas aus dem dynamisch verdichteten unteren Teil in einem axialen Strom auf den Lichtbogen wirken und dessen Energie ableiten.

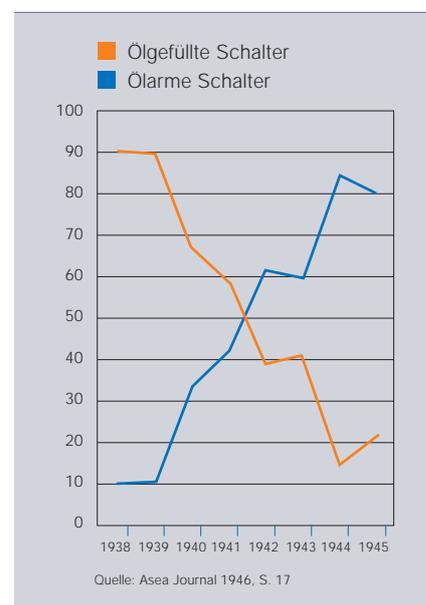
Dieser Schalter verbindet eine Reihe von Vorteilen wie einen geringen Wartungsaufwand, sauberen Betrieb, keine externe Kompression und keine Geräuschemissionen. SF₆ als Medium ist bei Kunden und Ingenieuren gleichermaßen beliebt, und seit 1970 sind

4 Die Funktion der Verdichtungskammer beim Schalten



verstärkt Investitionen in die Entwicklung dieser Leistungsschalter geflossen. Die Vorteile von SF₆ als Medium veranlassten die Ingenieure von ABB dazu, diese Technik mit dem Selbstblasprinzip des ölarmen Leistungsschalters zu kombinieren. Doch die ersten Anwendungen der Selbstblastechnik in SF₆-Schaltern folgten einem anderen Ansatz, der auch bei Vakuum-Leistungsschaltern zum Einsatz kommt, in denen der Lichtbogen mithilfe eines Magnetfelds kontrolliert wird. Beim Öffnen der Kontakte baut sich aufgrund der Spiralform der Elektroden ein Magnetfeld auf, das den Lichtbogen mit hoher Geschwindigkeit rotieren lässt. Dadurch mischt er sich mit dem kalten SF₆-Medium, und seine Energie wird rasch abgebaut.

5 Relative Verkaufszahlen von Ölschaltern bei ASEA um 1940



PIONIERLEISTUNGEN

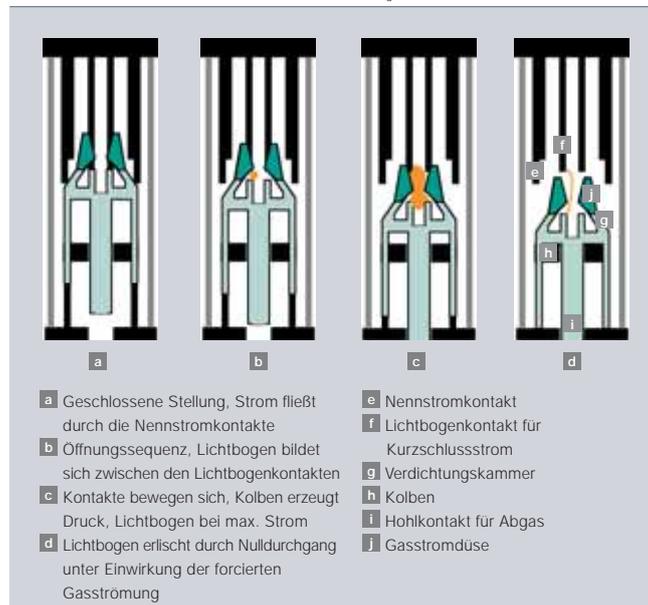
Ein paar Jahre später entwickelte ABB auf der Grundlage der gesammelten Erfahrungen im Bereich der Lichtbogenkühlung, Gasströmung, Materialverdampfung und Gasisolierung einen neuen, schlanken Leistungsschalter auf SF₆-Basis. Das Gerät enthält nur wenige bewegliche Teile, und es war nur eine geringe Kontaktbewegung erforderlich, um den Stromfluss zu unterbrechen. Diese Technologie wurde bald mit den Merkmalen von Blaskolben-Leistungsschaltern kombiniert und führte schließlich zur Entwicklung der modernen Leistungsschalter von ABB mit einer Schaltleistung von bis zu 25 GVA in einer einzigen Kammer. Dies entspricht einer 100-fachen Steigerung des Leistungsvermögens in den vergangenen 80 Jahren **7**.

8 zeigt einen modernen Freiluftleistungsschalter (Live Tank Breaker, LTB). In diesem Schalter wird die zur Unterbrechung des Kurzschlussstroms erforderliche Energie zum Teil aus dem Lichtbogen selbst entnommen. Dadurch liegt die vom Antrieb benötigte Energie unter 50 % eines herkömmlichen SF₆-Blaskolben-Leistungsschalters. Ein niedrigerer Energiebedarf senkt die Belastung des Schalters und erhöht damit seine Zuverlässigkeit.

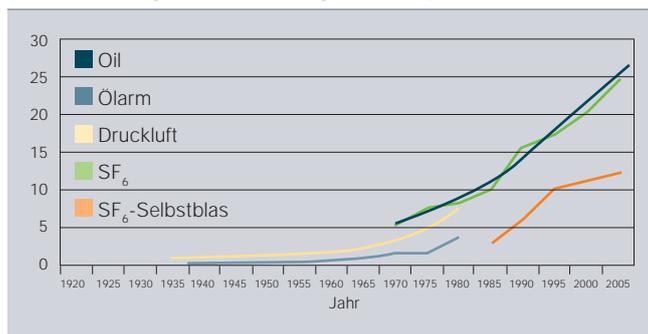
8 Der Freiluftleistungsschalter (LTB) D ist ein moderner Schalter mit einem Ausschaltstrom von 40 kA für Spannungen bis 170 kV.



6 Schaltvorgang bei Betätigung eines SF₆-Leistungsschalters



7 Schaltleistung von ABB-Leistungsschaltern pro Schaltkammer



Alle oben beschriebenen Arten von Leistungsschaltern benötigen ein Medium, in dem sich der Lichtbogen bildet. Der Vakuum-Leistungsschalter hingegen basiert auf einem anderen Prinzip: Wenn sich spannungsführende Kontakte in einem Vakuum trennen, beginnen die Metallelektroden zu verdampfen. Dieser Metalldampf dient als leitfähiges Medium, in dem sich der Lichtbogen bilden kann. Da die Elektroden spiralförmig sind, wird ein Magnetfeld induziert, in dem sich der Lichtbogen dreht. Wenn der Metalldampf auf den Elektroden und den Schaltkammerwänden kondensiert, erlischt auch der Lichtbogen.

Seit Anfang der 1980er Jahre hat ABB weit über eine Million Vakuum-Schaltkammern produziert, und die weltweite Nachfrage für dieses Hightech-Produkt hält weiterhin an. Die aktuelle Produktpalette von ABB umfasst

Vakuum-Schaltkammern für Leistungsschalter von 12 bis 40,5 kV mit Kurzschluss-Ausschaltströmen bis 63 kA.

Leistungsschalter der Zukunft Die richtige Handhabung des Lichtbogens – ein unverzichtbarer Bestandteil aller derzeitigen Leistungsschalter – ist in den letzten 100 Jahren eingehend untersucht worden. Noch besser wäre es natürlich, die Bildung des Lichtbogens gänzlich zu verhindern, zum Beispiel mithilfe eines neuen Schaltprinzips auf der Basis von Leistungshalbleitern.

Leistungselektronische Geräte sind weit verbreitet in der Elektrizitätswirtschaft, und Hochspannungs-Gleichstromsysteme (HGÜ) – ein bedeutender Produktbereich für ABB – basieren auf hoch entwickelten Leistungshalbleitern. Damit diese Technologie jedoch für Leistungsschalter eingesetzt werden kann, muss die Leistungsfähigkeit der derzeitigen Halbleiter deutlich verbessert werden. Mit der heute verfügbaren Technik ließe sich im Prinzip zwar ein Leistungsschalter bauen, doch es wäre ein äußerst komplexes und extrem kostspieliges Unterfangen. Ein vollständig elektronischer Leistungsschalter wäre auf dem heutigen Markt nicht wettbewerbsfähig.

Die Entwicklungsgeschichte von Leistungsschaltern zeigt jedoch, dass eine Kombination mehrerer etablierter Technologien zu neuen Produkten sehr erfolgreich sein kann. ABB führt diese Tradition fort und verbindet die Merkmale herkömmlicher Leistungsschalter mit leistungselektronischen Geräten, sodass auf diesem Gebiet in Zukunft weitere Leistungs- und Entwicklungssprünge zu erwarten sind.

Friedrich Pinnekamp
Group R&D and Technology
Zürich, Schweiz
friedrich.pinnekamp@ch.abb.com

Editorial Board

Peter Terwiesch
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Clarissa Haller
Corporate Communications

Ron Popper
Sustainability

Friedrich Pinnekamp
Group R&D and Technology

Nils Leffler
Chief Editor
nils.leffler@ch.abb.com

Herausgeber

ABB Schweiz AG
Corporate Research
ABB Review/REV
CH-5405 Baden-Dättwil
Schweiz

Die ABB Technik erscheint viermal pro Jahr in Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch, Chinesisch und Russisch.

Der auszugsweise Nachdruck von Beiträgen ist bei vollständiger Quellenangabe gestattet. Ungekürzte Nachdrucke erfordern die schriftliche Zustimmung des Herausgebers.

ABB Technik wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind. Wenn Sie an einem kostenlosen Abonnement interessiert sind, wenden Sie sich bitte an die nächste ABB-Vertretung oder direkt an den Verlag.

Herausgeber und Copyright ©2007
ABB AG, Zürich, Schweiz

Satz und Druck

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH.
AT-6850 Dornbirn, Österreich

Layout

DAVILLA Werbeagentur GmbH
AT-6900 Bregenz, Österreich

Übersetzung

Thore Speck, Dipl.-Technikübersetzer (FH)
Glücksburg, Deutschland

Haftungsausschluss

Die in dieser Publikation enthaltenen Informationen geben die Sicht der Autoren wieder und dienen ausschließlich zu Informationszwecken. Die wiedergegebenen Informationen können nicht Grundlage für eine praktische Nutzung derselben sein, da in jedem Fall eine professionelle Beratung zu empfehlen ist. Wir weisen darauf hin, dass eine technische oder professionelle Beratung vorliegend nicht beabsichtigt ist. Die Unternehmen der ABB-Gruppe übernehmen weder ausdrücklich noch stillschweigend eine Haftung oder Garantie für die Inhalte oder die Richtigkeit der in dieser Publikation enthaltenen Informationen.

ISSN: 1013-3143

www.abb.com/abbreview

Vorschau 2/2007

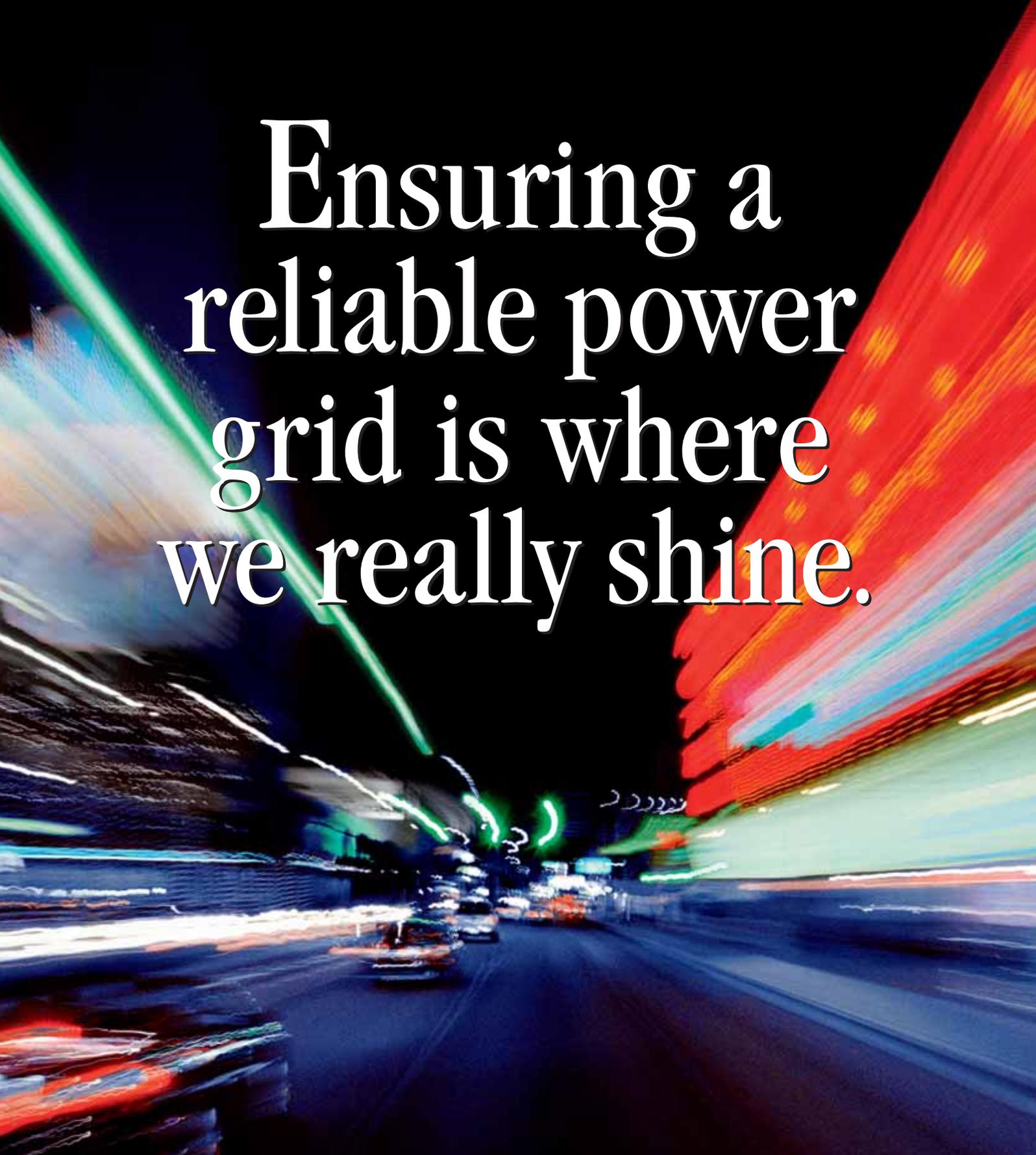


Ende 2006 wurden von bekannten Organisationen mehrere Berichte zum Thema „nachhaltige Energiezukunft für die Welt“ mit Handlungsplänen und Kostenschätzungen veröffentlicht. Im Anschluss an den G8-Gipfel im schottischen Gleneagles im Juli 2005 beauftragte der britische Premierminister Tony Blair den renommierten Wirtschaftswissenschaftler Sir Nicholas Stern mit der Untersuchung von Strategien zur Eindämmung der globalen Erwärmung. In seinem Bericht über „die wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels“ warnt er die Welt vor eskalierenden Kosten, wenn dieses Problem nicht umgehend in Angriff genommen wird.

Der World Business Council for Sustainable Development veröffentlichte seinen Bericht im Oktober 2006 unter dem Titel „Powering a Sustainable Future“, an dem durch die Mitwirkung von Fred Kindle auch ABB beteiligt war. Die Internationale Energiebehörde (IEA) schätzt in ihrem jüngsten Bericht, dass das größte Potenzial zur Reduzierung der Emissionen in der Steigerung der Energieeffizienz liegt.

Alle diese Berichte sind sich einig, dass der weltweite Strombedarf weiter steigen wird und dass die Verbesserung der Energieeffizienz auf Verbraucherseite kurzfristig die einzige Möglichkeit zur Einschränkung der Emissionen darstellt. Laut Schätzungen der IEA können bis zum Jahr 2050 zwischen 31 % und 53 % der CO₂-Emissionen durch Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz abgebaut werden. Entsprechende Technologien für eine effizientere Energieumwandlung sind bereits verfügbar und lassen sich kostengünstig bei Verbrauchern in allen Wirtschaftszweigen einsetzen.

Als einer der größten Anbieter dieser Technologien präsentiert ABB in der nächste Ausgabe der ABB Technik Produkte und Lösungen, die die Nutzung und Erzeugung von Elektrizität in der Industrie und Energiewirtschaft nachhaltig verändern können. Mithilfe dieser Technologien kann der lange Weg in Richtung einer nachhaltigen Zukunft schon heute beginnen.



Ensuring a
reliable power
grid is where
we really shine.

© 2005 ABB

Providing breakthroughs in power transmission and
distribution for the 21st century. Visit us at www.abb.com

Power and productivity
for a better world™

ABB