

Im Blickpunkt: Kooperation

Einbindung von Kunden

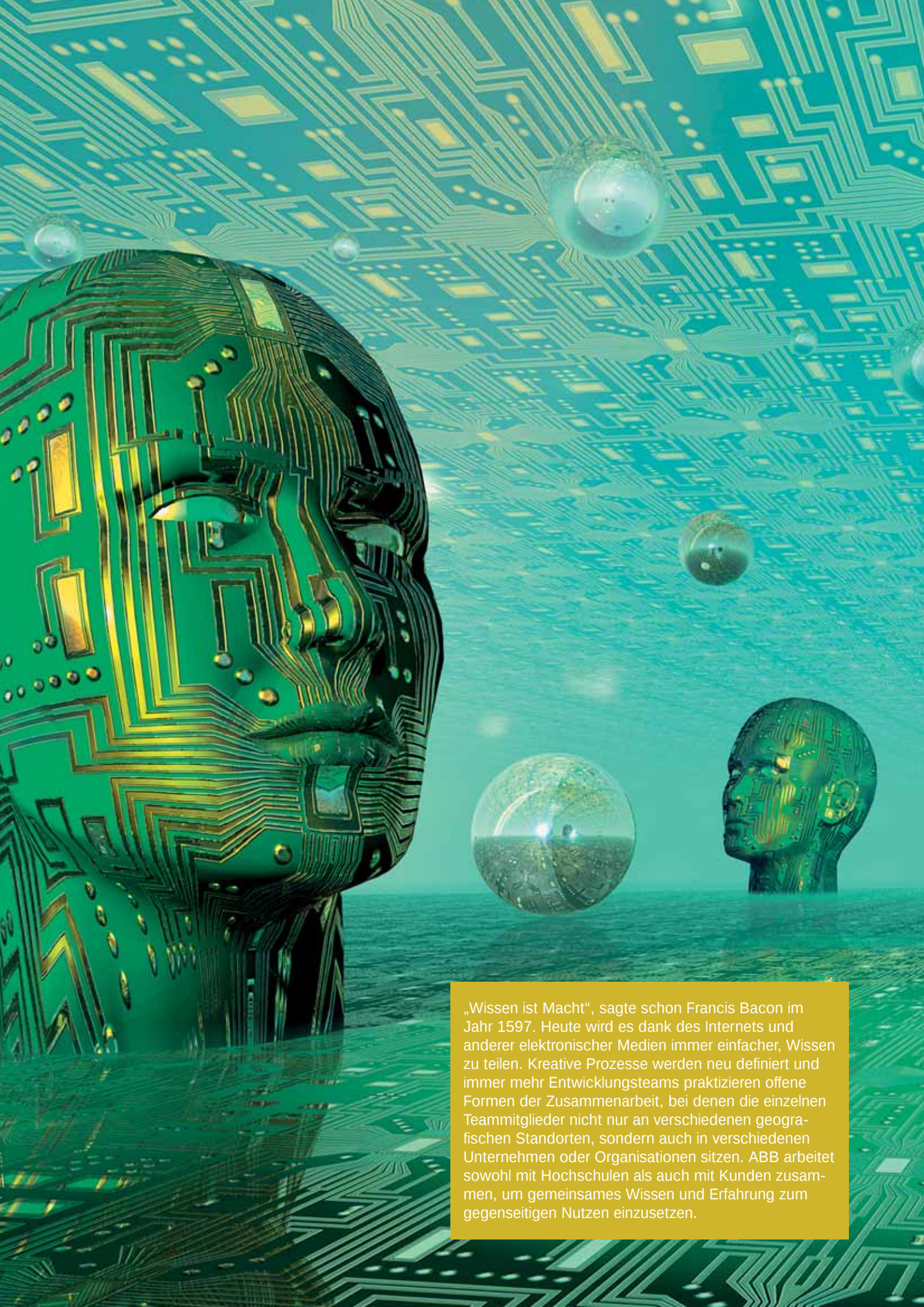
Seite 6

Sanftanlasser

Seite 31

Netzstabilität

Seite 34



„Wissen ist Macht“, sagte schon Francis Bacon im Jahr 1597. Heute wird es dank des Internets und anderer elektronischer Medien immer einfacher, Wissen zu teilen. Kreative Prozesse werden neu definiert und immer mehr Entwicklungsteams praktizieren offene Formen der Zusammenarbeit, bei denen die einzelnen Teammitglieder nicht nur an verschiedenen geographischen Standorten, sondern auch in verschiedenen Unternehmen oder Organisationen sitzen. ABB arbeitet sowohl mit Hochschulen als auch mit Kunden zusammen, um gemeinsames Wissen und Erfahrung zum gegenseitigen Nutzen einzusetzen.



Peter Terwiesch: „Um anderen voraus zu sein, muss man wissen, was möglich ist, und verstehen, was benötigt wird – und diese Erkenntnisse nutzen, um die Grenzen des Möglichen vorantreiben.“



Frank Duggan: „ABB ist unangefochtene Marktführerin in den meisten ihrer Kerngeschäfte. Ein noch besseres Verständnis der Bedürfnisse unserer Kunden ist das Rezept für den weiteren Erfolg unserer Produkte.“

Ergebnisorientierte Zusammenarbeit

Die vorliegende Ausgabe der ABB Technik widmet sich einem wichtigen Geschäftsprinzip: Kooperation. Laut Wörterbuch bedeutet dies „zusammen mit anderen arbeiten“. Wir bei ABB verbinden es zusätzlich mit Lernen, Teilen ... und erfolgreich sein.

Viele der größten Innovationen von ABB sind in enger Zusammenarbeit mit Kunden entstanden. Beginnend mit den allerersten Schritten auf dem Weg zu einem neuen Produkt bietet eine solche Kooperation den Partnern die Möglichkeit, ihre Wünsche und Ideen auszutauschen. In späteren Phasen der Produktentwicklung können sie die geplante Lösung noch weit vor der Markteinführung ausgiebig testen und perfektionieren. Dadurch, dass die Entwickler einen Einblick in die Perspektive des Kunden bekommen, lassen sich die Entwicklungsprozesse noch besser auf die wirklichen Bedürfnisse abstimmen. Außerdem werden dem Unternehmen Augen und Ohren für das geöffnet, was sich die Kunden der Kunden wünschen. Schon häufig sind die Ergebnisse solcher Projekte in die erweiterte Produktpalette von ABB eingeflossen, wo sie weiteren Kunden zu Gute kommen.

So wie sich ABB mit ihren Kunden zusammenschließt, pflegt das Unternehmen auch Partnerschaften mit seinen Lieferanten. Die Grundidee solcher Kooperationsvereinbarungen ist, dass sich erfolgreiche Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen und Stärken konzentrieren und eventuelle Lücken mithilfe anderer schließen, um ihr Produkt- und Dienstleistungsangebot zu komplettieren. Wir sind allen unseren Partnern außerordentlich dankbar, dass sie uns das notwendige Vertrauen schenken, um dies zu ermöglichen.

Auch im Bereich der Forschung unterhält ABB eine Reihe bedeutender Partnerschaften. Unter anderem arbeitet das Unternehmen mit über 70 führenden akademischen Einrichtungen wie dem Massachusetts Institute of Technology, der Carnegie Mellon University, dem Imperial College London und der Tsinghua Universität in China zusammen. Durch solche Kooperationen werden nicht nur die Bandbreite und die Fähigkeiten der eigenen Forschungsteams erweitert, sie bieten auch die Möglichkeit, einige der führenden Köpfe für bedeutende Forschungsprojekte zusammenzuziehen. Kooperationen haben ABB häufig dabei geholfen, neue Designs und Konzepte vorzustellen und neue Bereiche für weitere gemeinsame Projekte zu identifizieren. Doch Kooperation allein ist kein Garant für bahnbrechende Erfolge. Nach unseren Erfahrungen gibt es drei Hauptprinzipien, die zum Erfolg führen: voneinander lernen, Pionierarbeit leisten und miteinander teilen.

Bei dem ersten dieser drei Prinzipien – voneinander lernen – geht es darum, die richtigen Fragen zu stellen. Wenn sich die Beteiligten die Zeit nehmen, um etwas über die Tätigkeiten des anderen zu lernen und die damit verbundenen Herausforderungen und Einschränkungen zu verstehen, sind sie eher in der Lage, Lösungen zu finden, um diese Einschränkungen zu überwinden. Kooperation und Kollaboration sind im Grunde wechselseitige Prozesse, bei denen beide Seiten bereit sein müssen, zu fragen und zu antworten. Wichtig ist es, ein Gefühl für den „Puls“ der jeweiligen Situation zu entwickeln – nicht nur durch Gespräche mit dem direkten Gegenüber in der anderen Organisation, sondern durch die Bereitschaft, von einer Vielzahl von Akteuren zu lernen. Das zweite Prinzip – Pionierarbeit leisten – erfordert die Fähigkeit, über die Grenzen herkömmlicher Verfahren hinaus zu denken und zu handeln. Dies gilt nicht nur für die einzelnen Kooperationspartner, sondern auch im Hinblick auf eine Neudefinition der Beziehungen zwischen Kunden und Lieferanten.

Beim letztem Prinzip – miteinander teilen – geht darum, Ergebnisse und Erkenntnisse anderen Beteiligten zur Verfügung zu stellen. Dazu gehört auch die Fähigkeit, aus Fehlern zu lernen und die wahren Gründe für Innovationen anzuerkennen, statt nur die Lorbeeren zu ernten und nach anfänglichem Erfolg zum Nächsten überzugehen. Dies hilft dabei, die gemeinsame Position der Partner für die Zukunft zu festigen und sicherzustellen, dass einmal Gelerntes beim nächsten Projekt nicht neu erarbeitet werden muss.

In dieser Ausgabe der ABB Technik zeigen wir, wie sich diese Prinzipien in der Praxis bewährt haben. Innerhalb des ABB-Konzerns arbeiten rund 6.000 Wissenschaftler und Ingenieure in vielen verschiedenen Fachgebieten und Anwendungsbereichen. Nimmt man unsere Kooperationspartner hinzu, kommt noch einmal ein Vielfaches dieser Zahl zusammen. Wir sind dankbar für den Innovationsgeist, der sie alle erfüllt, und der die Erfolge ermöglicht, von denen wir in diesem Heft berichten.

Wir wünschen Ihnen eine angenehme Lektüre!

Peter Terwiesch
Chief Technology Officer

Frank Duggan
Head of Group Account Management

ABB Technik 3/2007

Im Blickpunkt: Kooperation

Wege zur Zusammenarbeit

6

Die optimale Art der Kooperation

Wissenschaftliche Analysen unterstreichen ein erfolgreiches Konzept.

9

Standfest auf zwei Beinen

Hochschulkooperationen als Bindeglied zwischen Markt und Technologie

11

Kein Schritt ohne den Kunden

Der Kunde als wertvolle Stütze der Produktentwicklung

Prozesstechnik

15

Erfolgreiche Zusammenarbeit

Eine innovative Kooperation, von der Kunden in allen Prozessindustrien profitieren

18

Vorausschauend denken

Sicherung eines stabilen und günstigen Zementwerksbetriebs mit Expert Optimizer

22

Neue Wege in der HF-Alkylierung

Entwicklung eines neuen, wegweisenden Werkzeugs für die Prozessanalyse

27

Die Technik hinter dem Wasserhahn

Optimierung der Wasserversorgung für die Stadt Basel mit ABB OPTIMAX®

31

Ein schlagendes Argument

Ein neuer Drehmoment-Regelungsalgorithmus verhindert Druckschläge in Rohrleitungen.

Energietechnik

34

Mit vereinten Kräften

Sicherung der Stabilität des norwegischen Stromnetzes

39

Steuerung und Schutz

Entwicklung eines Steuerungs- und Schutzrelais für Mittelspannungsabzweige

42

Gefahr erkannt!

ABB präsentiert ein innovatives System zur Erkennung von Hochimpedanzfehlern.

46

Schnell und sicher

Das ABB Fast Protective Device System zum Schutz von Reihenkondensatoren ist eine Klasse für sich.

50

Technologiepartner

TPC-Transformatoren als Antwort auf die Forderung nach mehr Funktionalität, Sicherheit und Zuverlässigkeit

53

Gut geölt

Eine innovative Lösung ermöglicht die Verwendung von Pflanzenöl in Leistungstransformatoren.

Automatisierung

58

Kurzer Prozess

Beschleunigung des Pressenbetriebs mithilfe der ABB DDC-Servotechnologie

63

Weniger ist mehr

Entwicklung eines schlanken, agilen Schweißroboters

65

Roboterspezialisten

IRB 6620 – der schlanke Roboter für Punktschweißaufgaben

68

Antriebsfaktoren

Feinjustierung eines integrierten Antriebsüberwachungssystems in Zusammenarbeit mit Kunden

72

Integrated Operations

Der Weg zum Ölunternehmen der Zukunft

76

Was uns Regelkreise verraten können

Überwachung der Anlagenperformance mithilfe von Regelkreisdaten

Pionierleistungen

80

Voller Spannung

Die Geschichte der ABB-Leistungstransformatoren



Die optimale Art der Kooperation

Wissenschaftliche Analysen unterstreichen ein erfolgreiches Konzept

Ellen Enkel

Die Eingaben von Kunden sind entscheidend für den Erfolg eines Unternehmens. Durch die Beteiligung seiner Kunden am Innovationsprozess ist ein Unternehmen in der Lage, seine Innovationsfähigkeit zu verbessern und das Marktrisiko einer diskontinuierlichen Innovation zu reduzieren. Je früher das Wissen und die Erfahrung von Kunden in den Innovationsprozess einfließen, desto stärker kann sich das Unternehmen auf seine F&E-Aktivitäten zur Erfüllung der Kundenbedürfnisse konzentrieren.

So können Erkenntnisse über die Bedürfnisse von Kunden gewonnen, in den entscheidenden Fachbereichen des Unternehmens kommuniziert und in neue Produkte und Dienstleistungen umgesetzt werden.

Empirischen Untersuchungen zufolge wird die Integration des Kunden in den Innovationsprozess zunehmend als Methode zur Minimierung des Investitionsrisikos eingesetzt.



Diskontinuierliche Innovationen stehen ganz oben auf der Agenda der Manager, denn sie stellen aufgrund ihrer höheren Unsicherheit im Vergleich zu schrittweisen (inkrementalen) Innovationen ein gewisses Risiko dar **Infobox**. Dies gilt sowohl für die Eigenschaften des Produkts als auch für die Fähigkeit des Unternehmens zur effektiven und effizienten Herstellung des Produkts, seine Marktakzeptanz und nicht zuletzt die Profitabilität. Doch auch traditionelle Produktentwicklungsverfahren mit einer schrittweisen Innovation stellen eine Herausforderung dar, da sowohl die Produktmerkmale als auch die zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten der Innovation noch nicht bekannt sind. Die Ergebnisse traditioneller Verfahren zur Prognose von Kundenbedürfnissen und Marktpotenzialen – ganz gleich ob mithilfe quantitativer oder qualitativer Methoden – beschränken sich mehr oder weniger auf Erkenntnisse zur Verbesserung von Produkten. Eine frühe Einbindung von Kunden mit ähnlichen Bedürfnissen und von potenziellen zukünftigen Kunden ermöglicht dem Unternehmen Einblicke in bisher unbekannte Anforderungen

Wege zur Zusammenarbeit

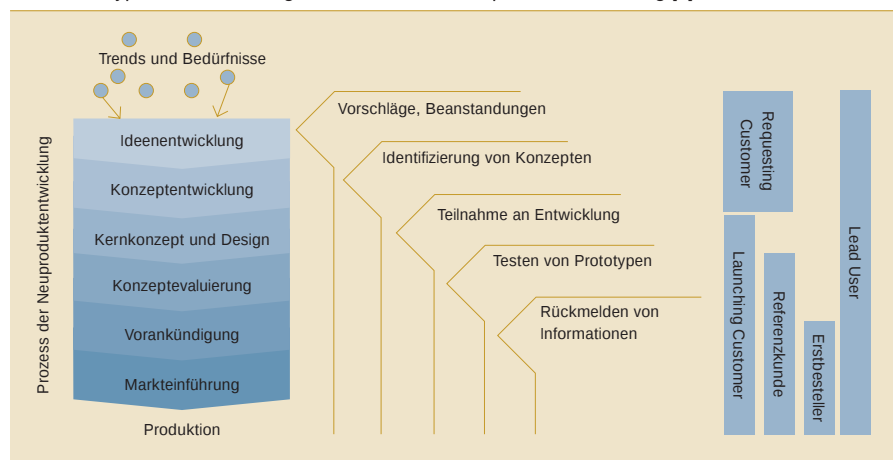
des Zielmarkts und in die zukünftigen Bedürfnisse der Kunden und kann daher auch zu einer zerstörenden Innovation (disruptive Innovation) führen **Infobox**. Tatsächlich versuchen Unternehmen häufig, die Vorteile der Kundenintegration in ihrem Neuproduktentwicklungsprozess wirksam einzusetzen. Kunden können auf verschiedene Weise in die F&E-Aktivitäten eingebunden werden. Dabei variiert der Beitrag, je nachdem in welcher Phase die Beteiligung erfolgt. **1** zeigt einen Überblick über verschiedene Möglichkeiten der Kundenintegration in den verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses und gibt an, welche Kundentypen sich für die jeweiligen Eingaben am besten eignen **3**. *Requesting Customers* (fordernde Kunden) liefern Ideen für neue Produkte, die sich aus ihren Bedürfnissen ergeben. Der Beitrag dieser Kunden hängt von der Fähigkeit des Unternehmens ab, das Wissen der Kunden zu erfassen, das häufig in Form von Beschwerden und Vorschlägen vorgetragen wird. Da sich Beschwerden meist auf die Verwendung und die Eigenschaften bestehender Produkte beziehen, sind sie als Informationsquelle im Hinblick auf neue Produkte nur begrenzt geeignet. *Launching Customers* (Produkteinführungskunden) hingegen sind von der Entwicklungsphase an in den Prozess integriert und nehmen an der Simulation, Konstruktion oder anderen Entwicklungsaktivitäten teil. Im Gegensatz dazu bringen *Referenzkunden* Anwendungserfahrung ein. Welche äußerst

produktive Rolle Referenzkunden bei der Produkt- und Prototypenerprobung spielen können, zeigen verschiedene empirische Studien. Eine eher passive Rolle bei der Produktentwicklung spielen *Erstbesteller*. Modelle zur Diffusion der Innovation zeigen, dass ein Vorreiter, der die Marktdurchdringung stark beeinflusst, den Markterfolg eines Produkts unterstützen kann. Ein Kundentyp, der in der Lage ist, alle Phasen des F&E-Prozesses abzudecken und somit bevorzugte Kooperationspartner darstellen, sind die so genannten *Lead Users* (trendführende Nutzer). Mehrere empirische Untersuchungen zeigen, dass bei Innovationsprojekten auf der Basis von Lead-User-Methoden der Neuheitsgrad, der erwartete Umsatz, der Marktanteil und die strategische Bedeutung des Produkts deutlich größer ausfallen als bei Projekten auf der Basis traditioneller Methoden. Außerdem eignet sich der mehrphasige

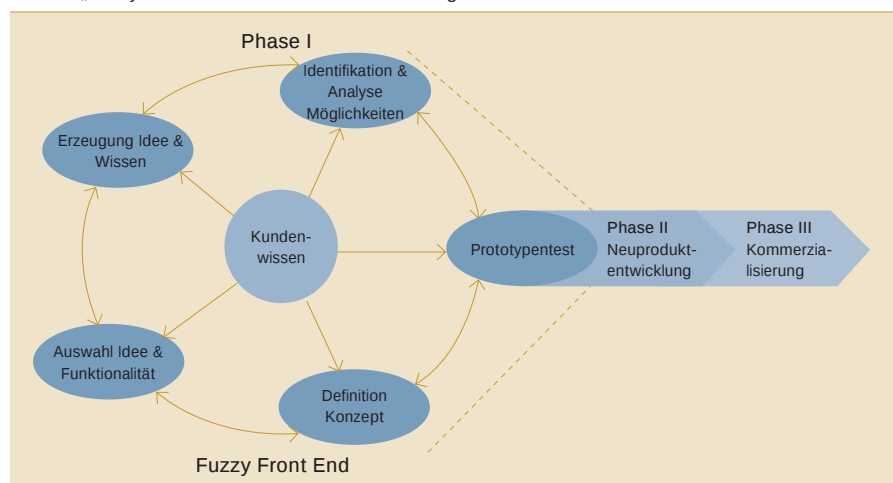
Ansatz der Lead-User-Methode nicht nur zur Entwicklung neuer, innovativer Produktkonzepte, sondern trägt auch zur Steigerung der Effektivität funktionsübergreifender Produktentwicklungsteams bei.

Lead User unterscheiden sich deutlich von gewöhnlichen Nutzern. Sie setzen sich wesentlich früher mit neuen Anforderungen auseinander als die Mehrheit der Kunden auf dem Markt, und sie profitieren von Innovationen, die diese Anforderungen erfüllen. Lead User können zu verschiedenen Phasen des frühen Innovationsprozesses – dem sogenannten „Fuzzy Front End“ – beitragen. Wie in **2** dargestellt, kann Kundenwissen in hohem Maße zur Entwicklung von Ideen, Identifizierung von Möglichkeiten und zur Definition von Konzepten für zukünftige Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen beitragen. Um die Integration von externem Wissen nicht nur von Kunden, sondern

1 Kundentypen und ihr Beitrag zum Prozess der Neuproduktentwicklung [1]



2 Das „Fuzzy Front End“ im Hinblick auf die Integration von Kundenwissen



Infobox Innovationsglossar

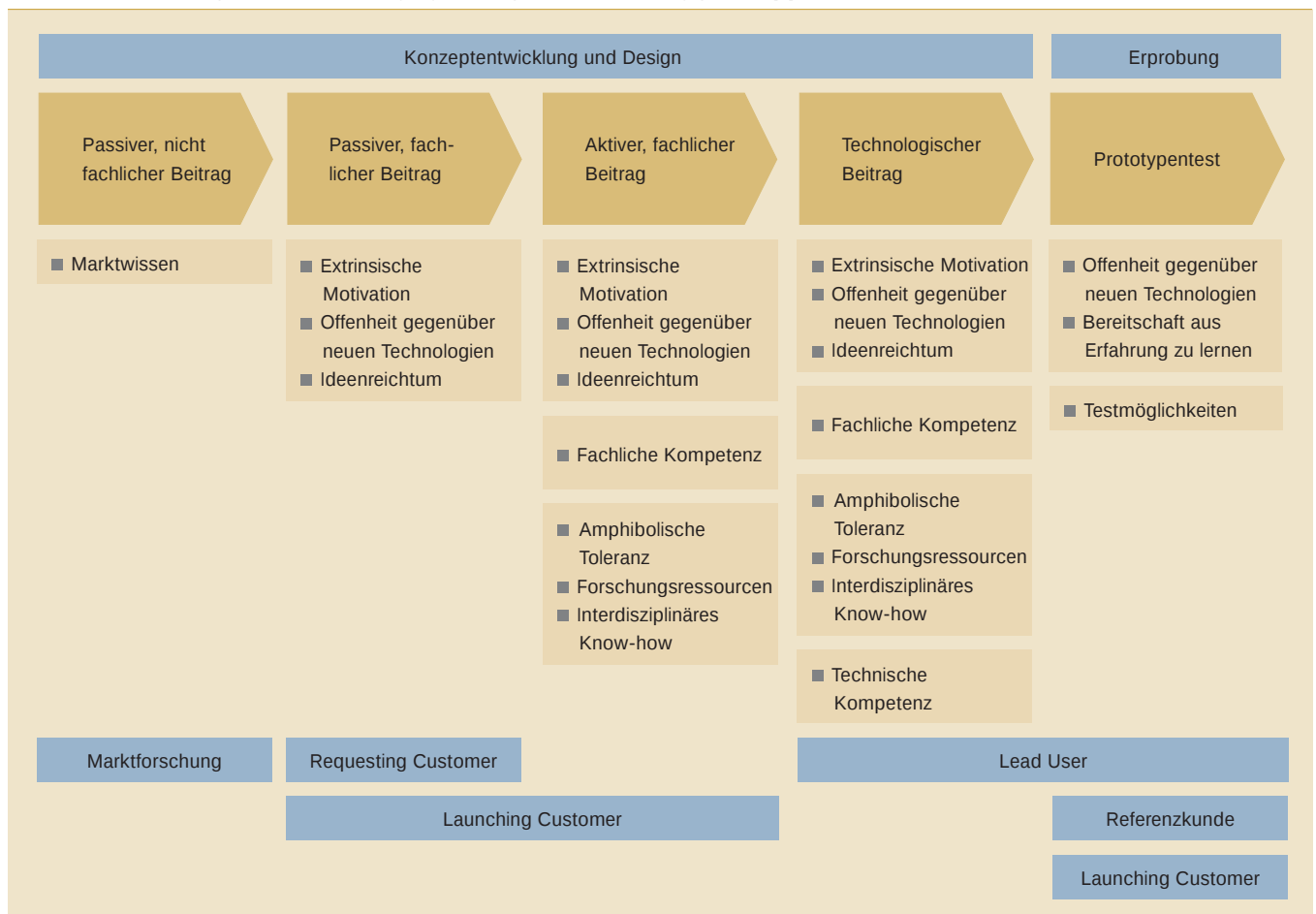
Diskontinuierliche oder zerstörende (disruptive) Innovation: ein technisches Produkt oder System, das den aktuell vorherrschenden Stand der Technik überholt und einen neuen Markt schafft.

Schrittweise (inkrementale) Innovation: eine kleine Verbesserung einer bestehenden Technologie, die kurzfristige Ziele erfüllt und das Wachstum eines Unternehmens aufrechterhält.

Offene Innovation: der Kauf bzw. Lizenzierung von Prozessen oder Technologien anderer Unternehmen. Entsprechende Methoden und Verfahren wurden in den letzten fünf Jahren entwickelt [5].

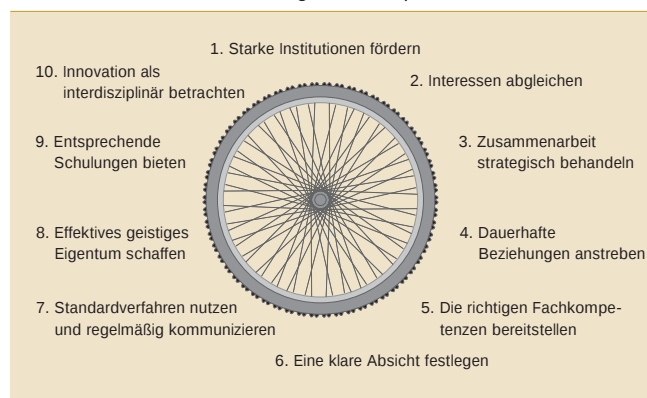
Wege zur Zusammenarbeit

3 Erforderliche Kundenprofile für eine Beteiligung am Neuprodukt-Entwicklungsprozess [1]



auch von Hochschulen und öffentlichen Forschungseinrichtungen in den Innovationsprozess geht es bei dem vielversprechenden neuen Konzept der *offenen Innovation* (Open Innovation) [5]. Die im Rahmen der offenen Innovation entwickelten praktischen Aspekte und Richtlinien lassen sich auch auf die Beziehungen mit Kunden anwenden [4] [2]. Die Zusammenarbeit mit Partnern kann ohne das richtige Management ebenfalls riskant sein. Mögliche Folgen sind der Verlust von proprietärer Kompetenz, die Abhängigkeit von Kundenansichten, eine Beschränkung auf eine schrittweise Innovation oder die ausschließliche Bedienung von Nischenmärkten [3, 4]. Doch durch die Befolgung der oben genannten Empfehlungen und anderer

4 Zehn Richtlinien für eine erfolgreiche Kooperation in der F&E



„Best Practices“ können die Risiken einer Zusammenarbeit mit Kunden auf ein unbedeutendes Maß reduziert und gleichzeitig die Möglichkeiten erweitert werden.

Ellen Enkel
Leiterin des Kompetenzzentrums
Open Innovation an der Universität
St. Gallen, Schweiz
ellen.enkel@unisg.ch

Literaturhinweise

- [1] Ellen Enkel, Javier Prez-Freije, Oliver Gassmann: „Minimizing Market Risks through Customer Integration in NPD. Learnings from a bad practice“, Creativity and Innovation Management, Vol. 14 (4), S. 425–437 (2005)
- [2] Oliver Gassmann, Christoph Kausch, Ellen Enkel: „A study of negative side effects of customer integration“, International Journal of Technology Management (2007, im Erscheinen)
- [3] Responsible Partnering: a handbook composed by EIRMA, EARTO, ProTon and EUA, www.eirma.asso.fr
- [4] Ellen Enkel, Christoph Kausch, Oliver Gassmann: „Managing the risk of customer integration“, European Management Journal Vol 23,2, S. 203–213, April 2005
- [5] Ellen Enkel, Oliver Gassmann: „Driving Open Innovation in the Front End. The IBM Case“, International Journal of Technology Management (2008, im Erscheinen)

Standfest auf zwei Beinen

Hochschulkooperationen als Bindeglied zwischen Markt und Technologie

Friedrich Pinnekamp

Heute sind rund um die Welt mehr Wissenschaftler tätig als jemals zuvor. Sie sind besser informiert und entwickeln neue Ideen und Innovationen mit rasender Geschwindigkeit. Kollaborative Partnerschaften im Bereich der wissenschaftlichen Forschung sind zu einer wichtigen Voraussetzung für die Erhaltung dieses Innovationsprozesses und die Umsetzung guter Ideen in großartige Erfindungen zum Wohle der Gesellschaft geworden. Aus diesem Grund sollten industrielle Forschungsorganisationen nicht nur mit einem Bein fest beim Kunden, sondern auch mit einem Bein auf dem Hochschulcampus stehen.



Das oberste Ziel der Kooperation zwischen Hochschulen und der Industrie ist es, die Grenzen des Wissens zu erweitern und dieses Wissen in neue Produkte, Prozesse und Dienstleistungen umzusetzen. Die vielen Herausforderungen, denen die moderne Gesellschaft heute gegenübersteht, erfordern wissenschaftlich fundierte und technologiegetriebene Innovationen, die eine bessere Zukunft für uns alle ermöglichen [1]. Dieses Wissen zu nutzen und in Arbeitsplätze und Wohlstand umzuwandeln, ist jedoch nicht nur eine Frage der Forschung und der Forschungspolitik. Es geht vielmehr darum, die richtigen Bedingungen für

neue Unternehmen zu schaffen und den Kontakt zwischen Forschern und Unternehmern zu fördern. Auf lange Sicht werden sich Unternehmen nur mit wissenschaftlich fundierten und technologiegetriebenen Innovationen erfolgreich auf internationalen Märkten behaupten können. Aus diesem Grund sollten sie bestrebt sein, Forschungsk Kooperationen mit Hochschulen in ihren Produkt- und Dienstleistungsentwicklungsprozess zu integrieren. In den letzten zehn Jahren ist dieses Prinzip für Forscher in der Industrie immer attraktiver geworden, und ABB ist stolz darauf, zu den Vorreitern auf diesem Gebiet zu gehören. Tatsächlich hat die Zusammenarbeit mit Hochschu-

len in aller Welt bei ABB eine lange Tradition. Dies spiegelt sich in Kooperationsverträgen mit über 50 Hochschulen in den USA, Europa und Asien wider, von denen viele auf ihren jeweiligen Forschungsgebieten als international führend gelten. Sechs dieser Hochschulen werden in der **Infobox** auf der nächsten Seite kurz vorgestellt. Durch die aktive Unterstützung einer „offenen Innovation“ hat ABB die Möglichkeit, ihre Produkte mit neuester Technologie auszustatten und gleichzeitig vielversprechende Talente von Hochschulen für ihre eigene F&E-Organisation zu rekrutieren. Den Hochschulen hingegen bietet diese Öffnung die Möglichkeit, Forschungs-

Wege zur Zusammenarbeit



Infobox Einige der bedeutenden Hochschulpartner von ABB

Carnegie Mellon University, Pittsburgh
Carnegie Mellon ist weltweit bekannt für ihre Programme im Bereich der Informatik. Zusammen mit IBM wurde dort das berühmte „Andrew-Dateisystem“ entwickelt, und Michael „Fuzzy“ Mauldin entwickelte die revolutionäre Suchmaschine „Lycos“. Außerdem arbeiten die Carnegie Mellon und Sony daran, Roboter wie den AIBO im menschlichen Umfeld als Begleiter, Helfer und Assistenten zu etablieren. Das College of Engineering und insbesondere das Department of Electrical and Computer Engineering zählt seit Jahren zu den Besten der Welt.

RWTH Aachen

Die RWTH in Aachen gilt als eine der führenden Hochschulen auf den Gebieten Energieforschung und elektrische Anlagen, Werkstofftechnik und Produktionstechnik, um nur einige zu nennen. Aufgrund dieser Kompetenzen arbeitet die RWTH mit der Industrie unter anderem an der Entwicklung von physikalischen Modellen und Simulationswerkzeugen sowie an Langzeitstudien über die Zukunft der Stromnetzstruktur in Deutschland zusammen.

Chalmers Universität, Göteborg

Die „Chalmers“ verfügt über ein umfangreiches Know-how in einer Vielzahl von Bereichen wie Verbrennung und Katalyse, Fahrzeugelektronik und Fahrzeugsicherheit, Design und Dynamik. Die Alliance for Global Sustainability (AGS) ist eine einzigartige internationale Partnerschaft zwischen der Industrie und vier der weltweit führenden wissenschaftlichen und technischen Hochschulen. Die Forschungsteams gewinnen neue Erkenntnisse zu kritischen Aspekten der Nachhaltigkeit in den Bereichen Energie und Klima, Mobilität, urbane Systeme, Wasser und Landwirtschaft, sauberere Technologien und Kommunikation.

ETH, Zürich

Die ETH betreibt Materialforschung in Zusammenarbeit mit führenden Schweizer und internationalen Unternehmen aus folgenden Branchen: pharmazeutische Produkte, Engineering, Computerhardware, Energie, Werkstoffe, Spezialchemikalien, Lebensmittel, biomedizinische Implantate und Diagnose. Die Erforschung von energietechnischen Fragen und Automatisierungstechnologien gehört ebenfalls zum Spektrum.

Imperial College, London

Das IC ist bekannt für seine Kompetenz auf den Gebieten Informationsverarbeitung und -management, Systemforschung, Luftfahrt, Konstruktion und Werkstoffe. Im Bereich der Energieforschung arbeiten die Wissenschaftler mit einer Vielzahl von Unternehmen – z. B. Shell im Bereich der Exploration, Produktion und Aufbereitung – unter dem Schwerpunkt der Nachhaltigkeit zusammen.

Tsinghua Universität, Peking

Tsinghua spielt eine wichtige Rolle im Streben Chinas nach technologischer Innovation. Im Laufe der letzten Jahre hat die Universität eifrig daran gearbeitet, sich an internationalen F&E-Kollaborationen mit führenden Unternehmen zu beteiligen und ihre begrenzten Ressourcen wirksam zur Durchführung von F&E-Aktivitäten auf höchstem Niveau einzusetzen – z. B. im Bereich der Energieerzeugung, -übertragung und -verteilung. Zusammen mit ABB arbeitet Tsinghua an Fragen zur Interkonnektivität im Hinblick auf die regionalen chinesischen Stromnetze zusammen.

bereiche zu finden, die für die Gesellschaft von Nutzen sind. Eine solch intensive Zusammenarbeit zwischen der Industrie und der akademischen Welt kann nur zur Beschleunigung des Innovationsprozesses und zum Wachstum in allen Teilen der Welt beitragen. Unsere Hochschulpartner in den USA, Europa und Asien arbeiten eng mit den ABB-Forschungszentren rund um die Welt zusammen, um zum Beispiel neue Fertigungsprozesse zu entwickeln und Forschungen auf dem Gebiet der Strom-

netze und fortschrittlichen Werkstoffe anzustellen. Weitere Schwerpunkte der Zusammenarbeit sind drahtlose Netzwerke, Leittechnik, Mensch-Maschine-Schnittstellen und vieles mehr. Die Entwicklung von Beziehungen mit führenden Hochschulen gehört zu den Schlüsselementen der globalen F&E-Strategie von ABB. Der gegenseitige Austausch von Ideen und Informationen ermöglicht den Zugang zu den neuesten Entwicklungen und Technologien und hilft ABB dabei, wettbe-

werbsfähige Lösungen zu entwickeln, die sowohl für ihre Kunden als auch für die Gesellschaft von Nutzen sind.

Friedrich Pinnekamp

Chief Editor ABB Review
Zürich, Schweiz
friedrich.pinnekamp@ch.abb.com

Literaturhinweis

[1] Leffler, Nils; Körbächer, Catherine: „Hochschulkooperationen“, ABB Technik 2/2005, S. 22–28

Kein Schritt ohne den Kunden

Der Kunde als wertvolle Stütze der Produktentwicklung

Peter Lindgren, Jari Sunttila, Ilpo Ruohonen

Die Entwicklung neuer Produkte bei ABB folgt einem wohlstrukturierten Prozess. Wie das Beispiel eines drehzahlgeregelten Antriebs zeigt, kann die Zeit von der Definition des ersten Konzepts bis zur Markteinführung bis zu zweieinhalb Jahre betragen. In dieser Zeit befassen sich die Entwickler ständig mit der Frage, was die Kunden tatsächlich von dem neuen Antrieb erwarten. Dies herauszufinden, stellt eine besondere Herausforderung dar, denn jeder Kunde hat seine eigenen anwendungsspezifischen Vorzüge und möchte den perfekten Antrieb, der genau auf seine individuellen Bedürfnisse zugeschnitten ist.

Wege zur Zusammenarbeit

Sowohl die Produktentwicklung als auch die Technologieentwicklung und Forschung bei ABB folgen einem strukturierten Prozess auf der Basis wohldefinierter Meilensteine, sogenannter „Gates“. Dabei kann das nächste Gate erst in Angriff genommen werden, wenn alle zum vorherigen Gate gehörigen Aufgaben abgeschlossen sind.

Insgesamt gibt es acht solcher Gates bzw. Projektphasen ¹, die als Entscheidungspunkte („Go/No Go“) dienen:

- Gate 0: Projekt-Kickoff
- Gate 1: Abschluss der Projektplanung
- Gate 2: Beginn der Projektdurchführung
- Gate 3: Bestätigung der Durchführung
- Gate 4: Beginn der Produkteinführung
- Gate 5: Markteinführung des Produkts
- Gate 6: Abschluss des Projekts
- Gate 7: Rückblickende Analyse des Projekts

An den einzelnen Gates werden die Vorteile, der Status, die Ressourcen, die Technologie und die Risiken eines Projekts analysiert, um zu entscheiden, ob ein Projekt fortgesetzt wird oder nicht. Bei allen diesen Schritten ist die Beteiligung des Kunden erforderlich, um eine erfolgreiche Produkteinführung zu gewährleisten. Bei einigen Schritten spielen die Kunden eine besondere Rolle bei der Beantwortung wichtiger Fragen an den einzelnen Gates. Zum Beispiel:

- Gate 1: Ist es aus Sicht des Kunden und der Mitbewerber klar, welche Art von Produkt entwickelt werden soll, und ist der Umfang des Projekts klar?

- Gate 4: Soll die Produkteinführung in vollem Umfang begonnen werden? Wie waren die Rückmeldungen von Alpha-Pilot-Kunden¹⁾ und ausgewählten Anwendungen?
- Gate 5: Ist das Produkt reif für eine allgemeine Freigabe? Wie waren die Rückmeldungen von den Standorten der Beta-Piloten²⁾?

Brauchen die Kunden das, was sie sich wünschen?

ABB versucht, an verschiedenen Punkten des Gate-Modells Rückmeldungen von verschiedenen Kundentypen wie Endkunden, OEM-Herstellern, Systemintegratoren und Channel-Partnern einzuholen. Den größten Einfluss auf die Gesamtentwicklung hat jedoch die Phase zwischen Gate 0 und Gate 1. Hier muss klar zwischen den Bedürfnissen und den Wünschen eines Kunden unterschieden werden. Die Bedürfnisse können dann möglicherweise mit neuen Lösungen erfüllt werden.

Eine Anforderung seitens der Kunden an die Industrial Drives von ABB war zum Beispiel eine geringere Größe. Jüngste technologische Entwicklungen haben zu einer drastischen Verkleinerung der Stromrichtermodule geführt, was wiederum eine Verkürzung der durchschnittlichen Länge des MultiDrives auf die Hälfte seiner vorherigen Größe ermöglichte. Um weiteren Platz einzusparen, wurden kleinere Module konzipiert, damit sie schräg im Antriebsschrank untergebracht werden können.

In einem anderen Fall konnten die stromführenden Kupferkabel nicht weiter verkleinert werden, sodass die Konstrukteure von ABB eine innovative Sockellösung entwickelten,

bei der das Leistungsteil aus dem Antrieb gezogen werden kann, um den Zugang zur Verkabelung zu ermöglichen.

Entwicklung eines Hochleistungs-Frequenzumrichters
Vor Kurzem hat ABB eine neue Generation von leistungsstarken Machinery Drives für anspruchsvolle Bewegungs-/Lageregelungsanwendungen mit der Bezeichnung ACSM1 auf den Markt gebracht ².

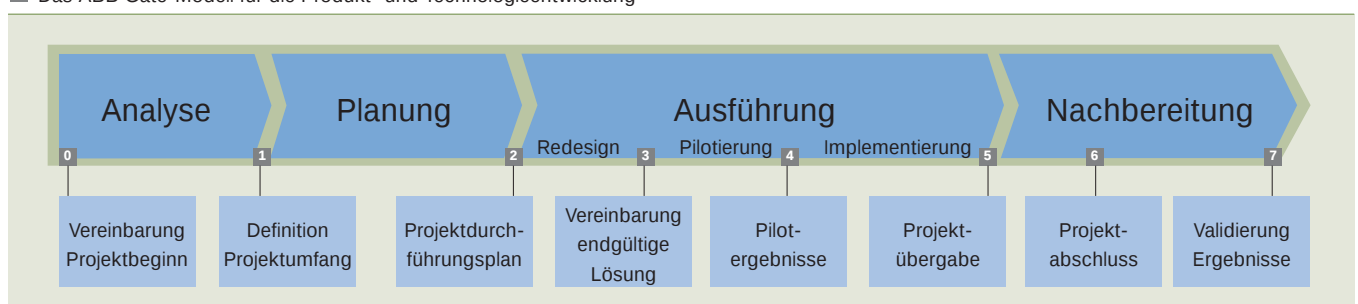
Der ACSM1 ermöglicht die Regelung mehrerer verschiedener Motoren und eröffnet somit eine neue Ära in der Antriebstechnik. Er eignet sich nicht nur für spezielle Servomotoren, sondern kann bei Asynchron-, Synchron- und Asynchron-Servomotoren sowie bei Motoren mit sehr hohem Drehmoment mit unterschiedlichen Gebersystemen eingesetzt werden.

Doch die Entwicklung einer solchen leistungsstarken Plattform birgt auch das Risiko, dem Kunden zu viele Funktionen zu bieten. Wenn ein Frequenzumrichter mit der Performance eines Servoantriebs in der Lage ist, alle Arten von Motoren zu regeln, könnten nahezu alle Anwendungen

Infobox 1 UniLift Control Technologies Ltd

UniLift Control Technologies Ltd ist Teil der Pickerings Lifts Group, einem unabhängigen Unternehmen, das auf die Konstruktion, Fertigung, Installation und Wartung von Aufzugsanlagen in Großbritannien und Europa spezialisiert ist. Das Unternehmen beschäftigt über 500 Mitarbeiter, 150 davon an seinem Werk in Großbritannien.

¹ Das ABB Gate-Modell für die Produkt- und Technologieentwicklung



damit abgedeckt werden. Dabei besteht allerdings die Gefahr, den Fokus der Entwicklung aus den Augen zu verlieren. Schließlich möchte kein Kunde für Funktionen zahlen, die er nicht nutzt.

Um diese Falle in der Produktentwicklung zu vermeiden, verwendet ABB zwei unterschiedliche Ansätze: die Auswahl sogenannter Lead Customers und die Beratung mit Referenzgruppen.

Zusammenarbeit mit Lead Customers

Ein Anwendungsgebiet des ABB Hochleistungs-Antriebssystems sind Aufzüge. Um sicherzustellen, dass die richtigen Produktmerkmale weiterentwickelt wurden, wandte sich ABB an einen der weltweit führenden Aufzugshersteller, UniLift Control Technologies Ltd in Mailand ^{InfoBox 1}, und dessen Systemintegrator Starlift.

Bereits ab dem Gate 1 war es für ABB wichtig zu wissen, welche Merkmale UniLift benötigte, wo die Prioritäten lagen und was bereits auf dem Markt verfügbar war. Ebenso wichtig war es, ein Verständnis für die Aufzugstechnik zu entwickeln, wozu auch die Aufzugherstellung, die Kultur und die Prozesse der Branche gehörten. So sollte zuerst ein klares Bild vom gesamten System in Bezug auf die Aufzugsanwendung vorliegen, bevor man sich mit den Einzelheiten des Antriebs befasst. Schließlich sind auf Systemebene viele Kombinationen von Lösungen möglich, die sich alle unterschiedlich auf die Performance des Aufzugssystems auswirken können.

Schon früh in den Besprechungen zeigte sich, dass sich viele Grundmerkmale des ABB Hochleistungs-Frequenzumrichters für Aufzugsanwendungen eigneten.

Dazu gehörten unter anderem:

- die Fähigkeit zur Regelung von Synchronmotoren, die bei Aufzügen immer beliebter werden
- zwei Regelungsvarianten – Drehzahl-/Drehmomentregelung oder Bewegungs-/Lageregelung (Motion Control)
- eine breite Auswahl von Geberschnittstellen für die jeweils am besten geeignete Drehzahl- oder Lageregelungskonfiguration
- verschiedene Kommunikationsoptionen
- ein integrierter Brems-Chopper³⁾

Weitere geforderte Merkmale waren:

- *Batterieunterstützung* – um sicherzustellen, dass die Aufzugskabine bei einem Stromausfall bis zur nächsten Etage weiterfahren kann
- *Safe-Torque-Off-Funktionen* – zur sicheren Abschaltung des Drehmoments als kostengünstige Möglichkeit zum Anhalten der Aufzugskabine gemäß der Norm EN 81-1.

Das gemeinsame Projekt von ABB und UniLift führte nicht nur einer Stärkung der Beziehung zwischen den beiden Unternehmen, sondern legte auch die Grundlage für die Entwicklung zukünftiger visionärer Ideen und kreativer Innovationen. Dazu gehören unter anderem vier bis sechs verschiedene Sollwerte für die Geschwindig-

keit, eine spezielle S-Kurvenregelung (Ruckbegrenzung) für einige Geschwindigkeitseinstellungen sowie die Handhabung von Getriebeübersetzungen und Seilaufhängungen mit der Möglichkeit zur direkten Einrichtung von Parametern für die Kabinenbewegung.

Die Bedeutung von Referenzgruppen

Neben externen Kunden arbeitet ABB auch mit sogenannten Referenzgruppen. Diese setzen sich aus internen Mitarbeitern zusammen, die täglich mit Kunden aus verschiedenen Branchen zu tun haben und somit eine gute Mischung von direkten Kundenrückmeldungen in den Produktentwicklungsprozess einbringen.

Eine solche Gruppe von ABB-Mitarbeitern aus acht Ländern war auch an der Entwicklung des flüssigkeitsgekühlten Industrial Drive von ABB beteiligt. Jedes Mitglied des Teams vertrat eine Branche, in der flüssigkeitsgekühlte Frequenzumrichter eingesetzt werden können. Dazu gehören der Schiffbau, die Windenergie, Offshore-Plattformen sowie die Zellstoff- und Papierindustrie.

Eine Erkenntnis aus Gesprächen mit der Gruppe war, dass die Größe der Frequenzumrichter weiter reduziert werden musste. Dies gilt besonders

2 Der neue ABB Machinery Drive ACSM1



Fußnoten

¹⁾ Alpha-Piloten sind funktionale Prototypen, die mithilfe von Fast-Prototyping-Methoden erstellt wurden.

²⁾ Beta-Piloten sind funktionale Prototypen, die mit den endgültigen Werkzeugen auf einer realen Fertigungslinie hergestellt wurden.

³⁾ Ein Brems-Chopper dient dazu, die Bremsenergie von den Gleichstromschienen eines Wechselstrom-Antriebssystems abzuführen.

Wege zur Zusammenarbeit

für Branchen, in denen nur begrenzt Platz zur Verfügung steht und kleinere Geräte daher von Vorteil wären wie etwa im Offshore-Bereich, an Bord von Schiffen, bei Kranen oder in den Gondeln von Windturbinen.

Damit einher ging die Forderung nach einem kleineren und dennoch leistungsstarken Brems-Chopper. So war der Brems-Chopper früherer Frequenzumrichter-Generationen zu groß für die geforderte kleinere Baugröße. Gleichzeitig forderte der Markt einen Leistungsbereich von bis zu 5,600 kW.

Der Beitrag der Kunden

Die grundlegende Performance und die vorgesehenen Merkmale neuer Produkte müssen umfassend getestet werden – eine Tatsache, von der sowohl ABB als auch der Kunde profitieren können.

Im Falle des ABB Machinery Drive konnte UniLift die Produktspezifikation beeinflussen und direkte Erfahrungen mit den aufzugsrelevanten Produktmerkmalen sammeln.

Im Falle des größeren flüssigkeitsgekühlten Industrial Drive von ABB konnte der deutsche Hersteller von Tiefbohranlagen Herrenknecht Vertical GmbH **Infobox 2** als Pilotkunde gewonnen werden, da man der Meinung war, dass der Frequenzumrichter die außergewöhnlichen Anforderungen des Tiefbohrgeräts „Terra Ivader 350“ erfüllen könnte, das für Bohrungen bis 6.000 m Tiefe konzipiert wurde. Besonders interessant für das Unternehmen war die Kombination aus kompakter Größe und hoher Leistung, denn gesucht wurde ein Antriebssystem mit einer Leistung von 1 MW in einem Gehäuse von weniger als 1 m³ Größe.

Infobox 2 Herrenknecht Vertical

Die 2005 gegründete Herrenknecht Vertical GmbH ist ein nach ISO 9001 zertifiziertes Unternehmen der Herrenknecht Gruppe, das auf die Entwicklung und Fertigung von Tiefbohranlagen nach Maß spezialisiert ist. Die Anlagen des Unternehmens sind geräuscharm, sicher und besonders effizient und ermöglichen die Erschließung von geothermischen Energieressourcen sowie Öl, Gas und Wasser in Tiefen von 3.500 bis 6.000 m. Das Kompetenzteam von Herrenknecht Vertical wird ergänzt durch Kooperationspartner aus Industrie und Wissenschaft, unabhängige Berater und die Herrenknecht Gruppe, dem führenden Anbieter von Lösungen in der maschinellen Tunnelbauvortriebstechnik und der dazu gehörenden Serviceleistungen.

www.herrenknecht-vertical.de

Weitere Vorteile der Zusammenarbeit

Durch die Einbeziehung von Referenzgruppen und Lead Customers über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg ist es möglich, sowohl den Schwerpunkt einer Lösung genauer zu definieren als auch die Anwendungsbasis zu erweitern.

Die Einbeziehung von Kunden liefert nicht nur einen wertvollen Einblick in die jeweilige Thematik, sondern hilft auch dabei, die internen Prozesse zu disziplinieren. Dadurch, dass die Ingenieure und Forscher stets mit den Bedürfnissen der Kunden konfrontiert werden, haben sie einen engeren Bezug zur Entwicklung.

Die enge Verbindung zu den Kunden bereits in der F&E-Phase ist nicht zuletzt einer der Gründe, warum sich ABB als führender Anbieter von elektrischen Antrieben etabliert hat.



Peter Lindgren
Jari Sunttila
Ilpo Ruohonen
ABB Drives Oy
Helsinki, Finnland
peter.lindgren@fi.abb.com
jari.sunttila@fi.abb.com
ilpo.ruohonen@fi.abb.com
ilpo.ruohonen@fi.abb.com

Erfolgreiche Zusammenarbeit

Die innovative Zusammenarbeit zwischen ABB und Dow bietet Vorteile für Fertigungsunternehmen in allen Industrien

Laura M. Patrick

Laut der ARC Advisory Group gehen in den Prozessindustrien jedes Jahr rund 5 % der Produktion im Gegenwert von rund 20 Milliarden US-Dollar aufgrund von unplanmäßigen Stillständen verloren. Im Rahmen der fortlaufenden Zusammenarbeit mit der Dow Chemical Company hat ABB eine Reihe von Produktmerkmalen und -funktionen entwickelt, die sich an den „Best Practices“ von Dow orientieren, um anderen Herstellern die Möglichkeit zu geben, ihre eigenen Anlagen sicherer und produktiver zu betreiben und Stillstandzeiten zu minimieren.

Die Dow Chemical Company Infobox ist ein wissenschaftlich und technologisch führendes Unternehmen und ein bedeutender Lieferant von innovativen Produkten und Dienstleistungen aus den Bereichen Chemie, Kunststoff und Landwirtschaft für viele wichtige Konsumgütermärkte. Konsistenz und Nachhaltigkeit gehören seit jeher zu den Hauptelementen der Betriebsdisziplin. Für Dow als globales Unternehmen ist es wichtig, verschiedene Anlagen jederzeit auf die gleiche Weise betreiben zu können, um eine gleichbleibend hohe Qualität, Prozesszuverlässigkeit und Wiederholbarkeit von Best Practices zu gewährleisten [1]. In den 1960er Jahren wurden eine Reihe von Technologieentwicklungsaktivitäten innerhalb des Unternehmens zu einer standardisierten, wiederverwendbaren Prozessführungsstrategie zusammengefasst, die die Ziele des Unternehmens im Hinblick auf Gesamtkonsistenz, Produktivitätsverbesserungen, globale Betriebsdisziplin und Innovation bei gleichzeitiger Erhaltung eines hohen Sicherheitsstandards unterstütze. Man kann sagen, Dow strebte bereits eine echte „Operational Excellence“ an, lange bevor dieser Begriff von den Analysten geprägt wurde. Der Schutz von Mensch und Umwelt gehört seit jeher zu den unerschütterlichen Prioritäten in der Unternehmenskultur von Dow. Voraussetzung hierfür ist, dass die Anlagen jederzeit sicher und auf gleiche Weise betrieben werden können [1].

Prozesstechnik

Damals gab es jedoch noch keine kommerziell verfügbare Lösung, die Dow bei der Realisierung seiner Betriebsdisziplin unterstützen konnte. Also entwickelte Dow eine Reihe von proprietären Lösungen, darunter ein Prozessleitsystem, das unter dem Namen MOD (Manufacturing Operating Discipline) bekannt wurde.

Auf der Suche nach einem neuen Entwicklungsansatz

Im Laufe der Jahre sicherte das MOD-System dem Unternehmen enorme Produktivitätsvorteile. Doch Anfang 2000 erkannte Dow, dass weitere Investitionen in proprietäre Hard- und Software nicht mehr wirtschaftlich tragbar waren. Stattdessen musste sich das Unternehmen auf seine Kerngeschäfte konzentrieren und entschloss sich daher, eine kommerzielle Lösung zu suchen. Das neue System musste eine Reihe von Anforderungen in puncto Nachhaltigkeit erfüllen. Zu diesen Kriterien gehörten eine langfristige kommerzielle Verfügbarkeit, modernste Technologie und zukunftsorientierte Lösungen. Dow benötigte ein Prozessleitsystem, das das Unternehmen erfolgreich in die Zukunft beleitet, in globalem Maßstab einsetzbar ist, kommerzielle Standards nutzt, sobald sie verfügbar sind, und auf einer Plattform basiert, die standardmäßig in jeder Anlage eingesetzt werden kann. Darüber hinaus musste das System so nachhaltig sein wie andere Betriebsmittel mit einer erwarteten Lebensdauer von 40–50 Jahren. Ferner musste das kommerzielle System in der Lage sein, die wachsenden Anforderungen bei Dow in puncto Wissensmanagement zu erfüllen und gleichzeitig der Prozessführungskultur von Dow treu bleiben [2].

Von einer detaillierten Liste mit 400 Anforderungen wurden 32 Kriterien als vorrangig bestimmt und liebevoll als die „Kronjuwelen“ bezeichnet. Daraufhin wurde eine Liste mit Kandidaten erstellt, die in der Lage sein konnten, diese Anforderungen zu erfüllen. Einer dieser wenigen Kandidaten war ABB.

„Nach zahllosen Präsentationen und Diskussionen stellte uns ABB ihre Industrial^{IT}-Technologie – das Herzstück ihres Extended Automation System 800xA – vor. Die Ausrichtung von ABB passte perfekt zu unseren Vorstellungen. Wir hatten die kommerzielle Technologie gefunden, die uns unseren Zielen näherbrachte, und die unsere „Kronjuwelenkriterien“ erfüllen konnte. Die Plattform bot uns die Möglichkeit, unsere Erfahrungen mit dem MOD-System zu nutzen und weiterzuentwickeln. Doch während die Technologie bei solchen Gesprächen eine wichtige Rolle spielt, ist viel mehr notwendig, um eine echte Beziehung zu entwickeln.“ [2]

„In darauf folgenden Besprechungen mit ABB stellten wir fest, dass sich unsere Visionen von der Automatisierung deckten. Die Vorstellungen von ABB passten perfekt zu unserem ständigen Bemühen zur praktischen Umsetzung unserer Betriebsdisziplin. ABB war sehr offen im Hinblick auf die Systemstrategie und gern bereit, unsere Sicherheitsphilosophie in ihr kommerzielles Angebot zu integrieren. Außerdem verfügte ABB über die speziellen Ressourcen für die System- und Technologieentwicklung, über die wir als Hersteller nicht verfügen,

sowie über Kompetenzzentren für Sicherheit, die richtige „Bench Strength“ im Bereich Systementwicklung und die Bereitschaft, ihr Entwicklungsprogramm anzupassen, um unsere Wünsche zu berücksichtigen.“ [3]. Zusammen legten ABB und Dow die Grundlage für eine echte kollaborative Beziehung und stellten das innovative Umfeld bereit, das zur erfolgreichen Entwicklung der Lösung erforderlich war.

Entwicklung einer kollaborativen Beziehung

Über den 2001 unterzeichneten formalen Entwicklungsvertrag hinaus entwickelte sich zwischen Dow und ABB eine echte kollaborative Beziehung, die Nährstoff für fortlaufende Entwicklungsaktivitäten lieferte. Die vier Hauptelemente der Beziehung sind:

- eine gemeinsame Vision
- gegenseitiges Vertrauen
- offene Kommunikation
- die Bereitschaft zur Konfrontation und konstruktiven Nutzung von Konflikten

„Die Beziehung ist mit der Zeit immer stärker geworden. Zu Anfang hatte jedes Unternehmen seine eigene Sichtweise auf die Welt der Automatisierung. Das Dow MOD 5 mit seiner FORTRAN-ähnlichen Sprache und ABB mit ihrer objektorientierten Programmierung – hier trafen zwei Philosophien aufeinander. Was folgte, war der lange Prozess der standardisierten Integration des ABB System 800xA in die Dow Chemical Company, wofür ein hohes Maß an Vertrauen und Zusammenarbeit erforderlich war. Dieses Vertrauen und die Zusammenarbeit entwickelte sich, als beide Unternehmen begannen, immer mehr über die Fähigkeiten des anderen zu erfahren, sich die Ideen des anderen anzuhören und sie anzuerkennen. Heute ist unsere Beziehung weit mehr als eine Beziehung zwischen Lieferant und Kunde. Manchmal ist es schwierig zu sagen, wer Kunde und wer Lieferant ist – vielleicht ist das die wahre Definition von Zusammenarbeit.“ [4]



Die Früchte der Arbeit

Die neueste Version des ABB Industrial^{IT} Extended Automation System 800xA wurde im November 2006 eingeführt. Die Version 5.0 des System 800xA verfügt über neue Engineering-Funktionen, die es dem Kunden erlauben, Änderungen an der Applikation vorzunehmen, ohne die Produktion zu unterbrechen oder kostspielige Stillstandzeiten in Kauf zu nehmen. Zu diesen neuen Engineering-Funktionen gehören Multi-User- und Distributed Engineering sowie Tools wie Load-Evaluate-GO. Laut ARC lässt sich ein Großteil der unplanmäßigen Stillstände durch verbesserte Automatisierungsfunktionen wie diese verhindern [5].

Load-Evaluate-GO wurde in Zusammenarbeit mit Dow entwickelt. Es ermöglicht das Hinzufügen von Programmen, Modifizieren von Konfigurationen und die Implementierung von Software-upgrades bei laufender Produktion. Danach simuliert und evaluiert es die Auswirkungen dieser Änderungen auf den Produktionsprozess, sodass der Kunde entscheiden kann, ob er diese Änderungen ausführen, bearbeiten oder verwerfen möchte. Diese Funktion reduziert die mit Applikationsänderungen im laufenden Prozess verbundenen Risiken deutlich und trägt durch Vermeidung von Produktionsstopps, verpassten bzw. verspäteten Lieferungen und kostspieligen Stillständen zur Steigerung der Gesamteffizienz bei. Dow definierte diese Möglichkeit als eines der vorrangigen Kriterien, die erfüllt werden mussten, als das Unter-

nehmen beschloss, vom seinem MOD 5-Prozessleitsystem zu einem kommerziellen System zu wechseln. Andre Schepens, Control System Architect im Bereich Engineering Solutions bei Dow Benelux BV, erklärt den Nutzen dieser Funktion wie folgt: „LEG (Load, Evaluate and GO) ermöglicht die Durchführung von Online-Modifikationen an einem Anlagenleitsystem und eine Prüfung der Integrität gegen die laufende Version in letzter Minute. Da das System vor jeder plötzlichen Änderung warnt, die bei der Aktivierung der neuen Version Auswirkungen auf die Feldgeräte haben kann, werden alle versteckte Probleme aufgedeckt, die sich nur in den Sekundenbruchteilen während des Übergangs von der alten zur neuen Version bemerkbar machen. Selbst die beste dynamische Prozesssimulation ist nicht in der Lage, genaue Daten von der Dynamik beim Übergang zwischen einer alten und einer neuen Programmversion zu liefern. Da die „Evaluate“-Funktion diese Probleme aufzeigt, während der Ausgang in einem passiven Zustand ist (d. h. das Feldgerät nicht ansteuert), hat der Benutzer die Möglichkeit, die Änderung zu verwerfen oder letzte Korrekturen vorzunehmen, um die Abweichungen vor der Aktivierung zu korrigieren. Der Nutzen dieser Lösung besteht in einem geringeren Risiko (Schäden an Betriebsmitteln, Produktionseinbußen usw.) sowie einer schnelleren Implementierung und Amortisation von Applikationsänderungen.“

Neben Load-Evaluate-GO wurden noch weitere Elemente des System 800xA wie das umfassende und skalierbare Safety Instrumented System (SIS) 800xA High Integrity gemeinsam mit Dow entwickelt. Das System vereint integrierte Sicherheit und Prozessführung in einer flexiblen Architektur und bietet dem Kunden die Möglichkeit, Automatisierungs- und Sicherheitsfunktionen entweder in demselben Controller zu kombinieren oder aber innerhalb desselben Systems getrennt zu halten. Durch die Bereitstellung einer vollständig integrierten Systemumgebung sowohl für die Prozessführung als auch die Überwachung der Sicherheit und Produktion wird die Prozessverfügbarkeit erhöht und gleichzeitig das Risiko für den gesamten Anlagenbetrieb reduziert. Mit dem Voranschreiten der kollaborativen Entwicklungsbeziehung zwischen ABB und Dow profitieren die Prozessindustrien von der kommerziellen Verfügbarkeit immer neuer Funktionalitäten. So werden Schlüsselemente der Dow'schen Betriebsdisziplin „produktisiert“ und stehen anderen Herstellern zur Verfügung, damit sie ihre eigenen Anlagen sicherer und produktiver betreiben können.

Dieser Beitrag enthält Verweise auf eine Reihe von Artikeln über Dow und ABB, die im Control Magazine erschienen sind. Dies gesamte Reihe kann unter www.controlglobal.com abgerufen werden.

Laura M. Patrick
ABB Process Automation
Rochester, NY, USA
laura.m.patrick@us.abb.com

Infobox Dow Chemical Company

Die Dow Chemical Company ist ein diversifiziertes Chemieunternehmen, das 1897 in Midland, Michigan (USA), zur kommerziellen Herstellung und zum Vertrieb von Bleichmitteln gegründet wurde. Dow beschäftigt 43.000 Mitarbeiter weltweit und hat einen Jahresumsatz von 49 Mrd. USD. Das Unternehmen verfolgt eine „Vision Null“, d. h. null Zwischenfälle, Verletzungen, Krankheiten, Unfälle und Umweltschäden. Dow bietet eine breite Palette von Produkten und Dienstleistungen und unterstützt Kunden in über 175 Ländern bei der Bereitstellung von Trinkwasser, Nahrungsmitteln, Pharmazeutika, Farben, Verpackungen und Körperpflegeprodukten [6].



Literaturhinweise

- [1] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: „The MOD Squad: Process Automation at Dow“, Control Magazine, Februar 2006
- [2] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: „At the Crossroads: Process Automation at Dow, Part 2“, Control Magazine, Mai 2006
- [3] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: „Collaborative Process Control: The Dow/ABB Story“, Control Magazine, November 2006
- [4] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: „Process Control at Dow: Results of the Collaborative Development with ABB“, Control Magazine, Juli 2007
- [5] ARCwire Industry News, 10. November 2006
- [6] www.dow.com

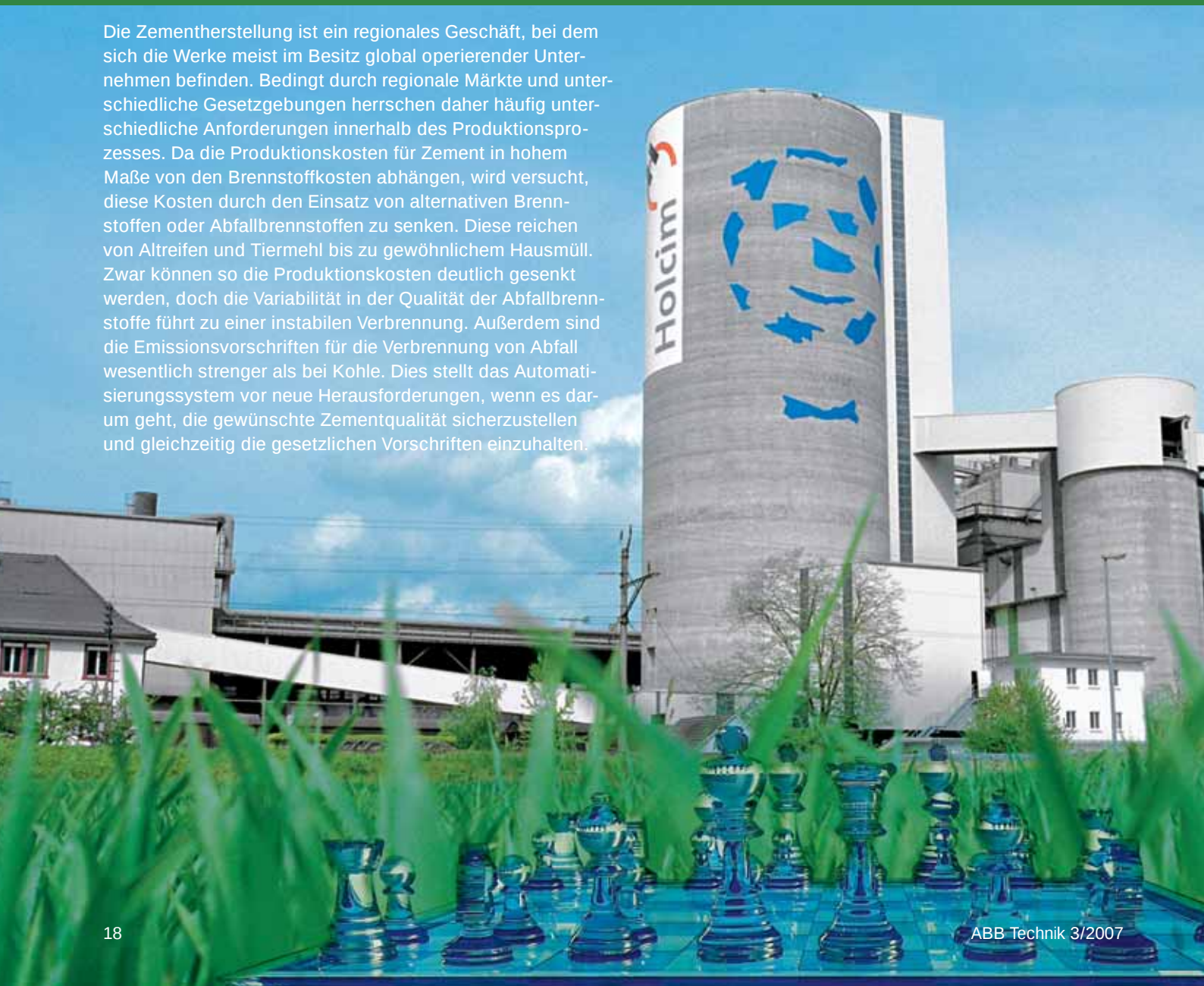
Vorausschauend denken

Sicherung eines stabilen und günstigen Zementwerksbetriebs
mit Expert Optimizer

Konrad S. Stadler, Eduardo Gallestey

Wie kann verhindert werden, dass sich Qualitätsschwankungen beim verwendeten Brennstoff in der Zementproduktion auf das Endprodukt auswirken? Vor dieser Herausforderung stehen Ingenieure, wenn abfallbasierte und andere alternative Brennstoffe für einen solchen Prozess eingesetzt werden sollen. Die Antwort liegt in der Verwendung einer prädiktiven Regelungsstrategie, die wie ein Schachspieler immer einige Züge vorausdenkt.

Die Zementherstellung ist ein regionales Geschäft, bei dem sich die Werke meist im Besitz global operierender Unternehmen befinden. Bedingt durch regionale Märkte und unterschiedliche Gesetzgebungen herrschen daher häufig unterschiedliche Anforderungen innerhalb des Produktionsprozesses. Da die Produktionskosten für Zement in hohem Maße von den Brennstoffkosten abhängen, wird versucht, diese Kosten durch den Einsatz von alternativen Brennstoffen oder Abfallbrennstoffen zu senken. Diese reichen von Altreifen und Tiermehl bis zu gewöhnlichem Hausmüll. Zwar können so die Produktionskosten deutlich gesenkt werden, doch die Variabilität in der Qualität der Abfallbrennstoffe führt zu einer instabilen Verbrennung. Außerdem sind die Emissionsvorschriften für die Verbrennung von Abfall wesentlich strenger als bei Kohle. Dies stellt das Automatisierungssystem vor neue Herausforderungen, wenn es darum geht, die gewünschte Zementqualität sicherzustellen und gleichzeitig die gesetzlichen Vorschriften einzuhalten.



Gemeinsam mit einem ihrer führenden Kunden, dem Zementwerk der Holcim (Deutschland) AG in Lägerdorf, stellte sich ABB der Aufgabe, die negativen Auswirkungen von alternativen Brennstoffen und Rohmaterialien (AFRs) im Calcinator des Werks mithilfe modernster Regelungstechnik zu mindern. Die Ergebnisse waren äußerst zufriedenstellend und stellen ein Paradebeispiel für technische Kompetenz und Kundenorientierung dar.

Der Prozess

1 zeigt eine schematische Darstellung des Drehrohrofenprozesses.

In der Zementherstellung gibt es viele verschiedene Anlagenkonzepte. Die neueren und energieeffizienteren Anlagen haben einen Vorwärmerturm **1a** mit mehreren Zyklonstufen **1c-f**. Der Vorwärmer nutzt die Abwärme von der nachgeschalteten Verbrennung. Im Vorcalcinator **1m** findet die Entsäuerung ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) des Rohmehls statt. Die erforderliche Wärme für die endotherme Reaktion wird durch Verbrennung von Brennstoffen im Vorcalcinator und durch die heißen Abgase des Drehrohrofens gewonnen. Von dort gelangt das entsäuerte Heißmehl in den Drehrohrofen **1n**, wo das eigentliche Sintern des Klinkers stattfindet.

Die große Variabilität der in Lägerdorf verwendeten Alternativbrennstoffe führt zur Destabilisierung des Klinkerbrennprozesses [1]. So wird durch jede Veränderung im Entsäuerungsgrad des Mehls, das in den Drehrohrofen gelangt, die Qualität des Klinkers

beeinflusst. Dabei ist der Drehrohrofen aufgrund seiner geringen Länge nicht in der Lage, Einbrüche im Entsäuerungsgrad zu kompensieren. Die Entsäuerung des Heißmehls wird zum größten Teil von der Temperatur im Vorcalcinator bestimmt. Der Zusammenhang zwischen Mehltemperatur und Entsäuerungsgrad ist in **2** dargestellt. In der hier beschriebenen Anlage werden bis zu 70 % der im Klinkerherstellungsprozess verwendeten Wärme durch die Verbrennung von Brennstoffen im Calcinator erzeugt. Wie die nichtlineare Charakteristik des Verhältnisses zwischen der Temperatur und dem Entsäuerungsgrad zeigt, nimmt der Nutzen für die Entsäuerung mit steigender Temperatur ab, und die Effizienz des Prozesses sinkt. Die Anlagenfahrer in Lägerdorf versuchen grundsätzlich, den Vorcalcinator mit höheren Temperaturen zu betreiben, um die erforderliche Qualität zu gewährleisten und somit den Prozess zu stabilisieren [1]. Allerdings treten bei hohen Vorcalcinatortemperaturen eine ganze Reihe zusätzlicher Probleme auf: Der Verschleiß der feuerfesten Auskleidung in den Zyklonen wird beschleunigt, was wiederum den Wartungs- und Reparaturaufwand erhöht. Außerdem wird das Mehl „klebriger“, wodurch die Gefahr von kapitalen Zyklonverstopfungen deutlich steigt.

Das F&E-Projekt

In den letzten zwei Jahren hat ABB fortschrittliche Prozessautomatisierungslösungen und -anwendungen in unterschiedlichen Anlagen auf der

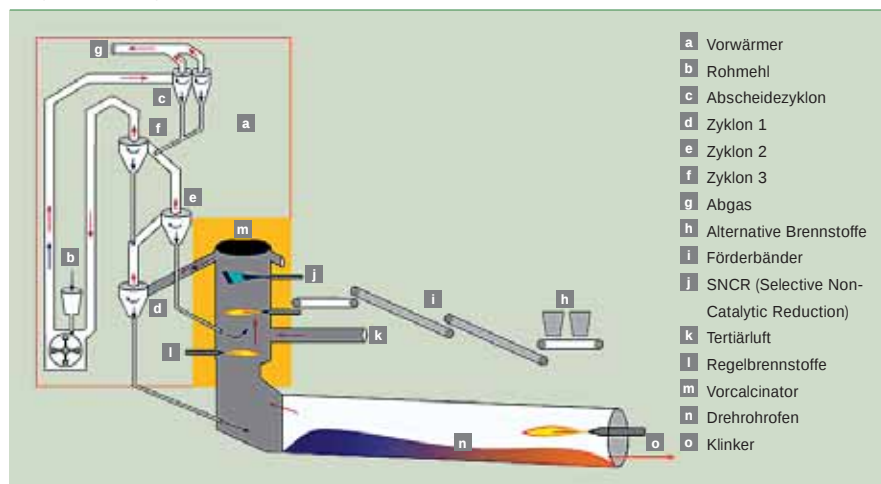
ganzen Welt entwickelt und implementiert. Dabei nutzt ABB den Kontakt zu ihren Kunden, um die aktuellen Produkte entsprechend den Anforderungen der Kunden ständig weiter zu verbessern. Die Automatisierungssysteme werden mithilfe des ABB Expert Optimizer implementiert – einem umfassenden Engineering-Werkzeug **3**, das die Entwicklung generischer Lösungen für hochkomplexe Regelungsprobleme in der Prozessautomatisierung erleichtert [2]. Die meisten Installationen wurden in den Bereichen Rohmaterialmischung, Drehofenregelung und Mühlenregelung implementiert. Allein in den letzten zehn Jahren wurden 45 Mischanlagen, 195 Drehrohrofen und 90 Mühlen von ABB in Betrieb genommen.

Da sowohl ABB als auch Holcim das „Vorcalcinator-Regelungsproblem“ schon seit langem in ihr Regelungsportfolio aufnehmen wollten, konnte die erforderliche Zusammenarbeit rasch in die Wege geleitet werden.

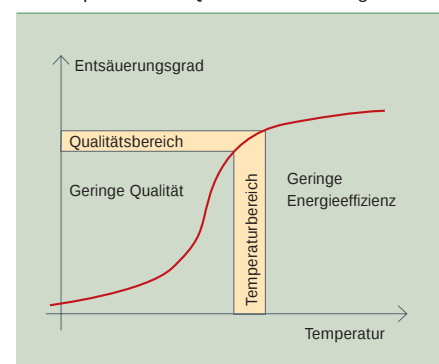
MPC als technologische Voraussetzung

Die modellprädiktive Regelung (MPC) basiert auf einem sogenannten „bewegten Horizont“ (receding horizon). Dabei wird eine in die Zukunft reichende Folge von optimalen Aktionen unter Einbeziehung der Dynamik des Prozesses berechnet **5**. Das erste Element der Sequenz wird als neuer Aktuator-Sollwert dem Leitsystem übergeben. Sind neue Messungen verfügbar, wird der Algorithmus wiederholt und eine neue Sequenz berechnet. Dieser Ansatz lässt sich mit der Strategie eines Schachspielers vergleichen: 1. Die Situation auf dem Schachbrett wird beurteilt, d. h. der Zustand des

1 Schematische Darstellung des Klinkerherstellungsprozesses im Werk Lägerdorf der Holcim (Deutschland) AG



2 Zusammenhang zwischen Temperatur und dem Entsäuerungsgrad. Die gewünschte Temperatur und Qualität sind hervorgehoben.



Prozesstechnik

- Prozesses wird gemessen und abgeschätzt.
2. Zukünftige Züge werden erwogen, d. h. ein mathematischer Algorithmus berechnet die optimale Folge von Aktionen.
 3. Der erste Zug der gewählten Sequenz wird angewendet, d. h. ein neuer Sollwert wird an die Aktuatoren übermittelt.

Dieser Ablauf wiederholt sich, nachdem der Gegner seinen Zug ausgeführt

hat. Ein bedeutender Vorteil eines solchen Systems ist, dass der mathematische Algorithmus in der Lage ist, bei der Bestimmung der optimalen Regelungssequenz Beschränkungen und Randbedingungen zu berücksichtigen. Analog dazu stehen dem Schachspieler ein begrenzter Bereich für seine Züge (das Brett) und (abhängig von den Schachfiguren) eine beschränkte Auswahl an Zügen zur Verfügung. Expert Optimizer unterstützt viele verschiedene Regelungstechnologien ein-

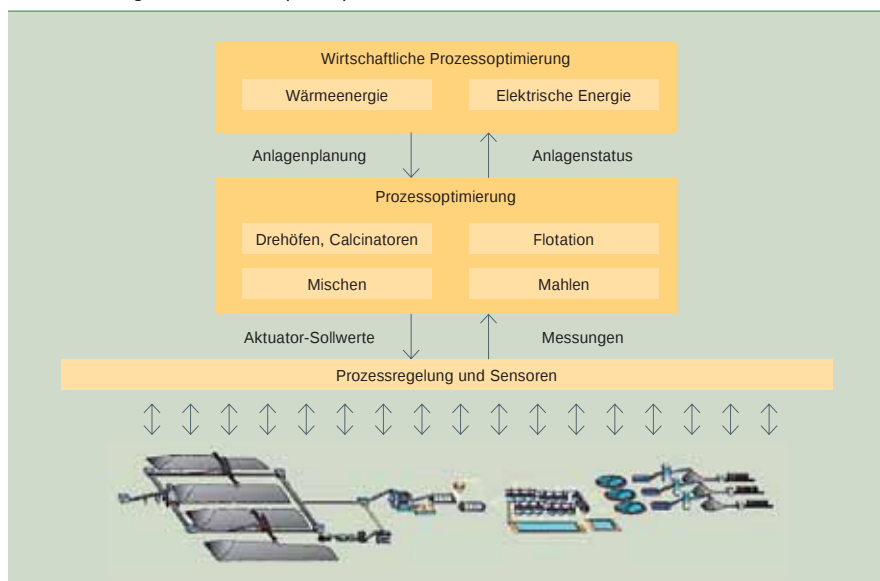
schließlich MPC, wurde aber bisher nicht zur Regelung des Verbrennungsprozesses in einem Calcinator der Zementindustrie eingesetzt.

Das Regelungsproblem

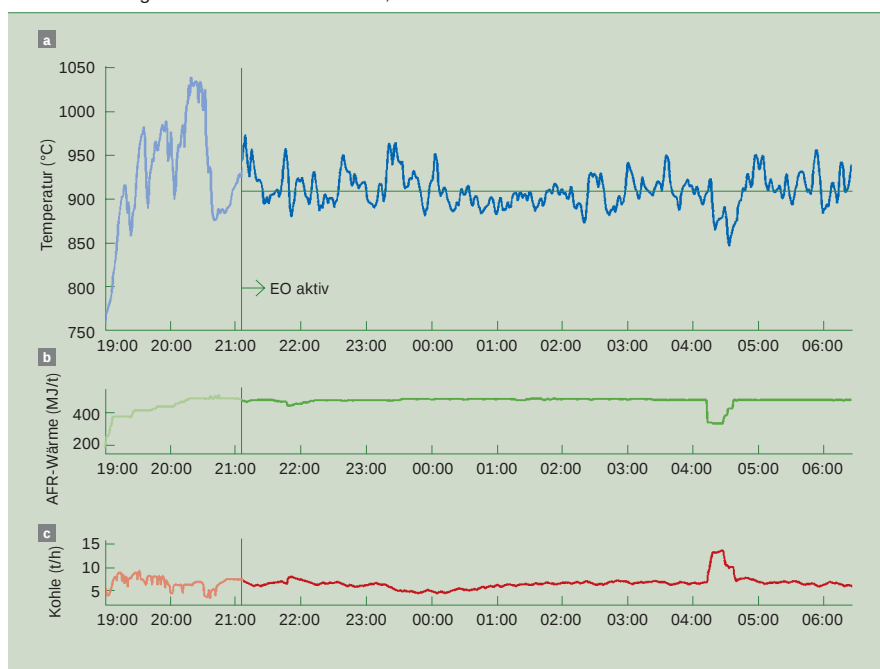
Die Temperatur im Voralcalinator ist der wichtigste kontinuierliche Indikator für die Qualität des Heißmehls und wird daher als Hauptregelgröße verwendet. Um eine optimale Verbrennung zu gewährleisten, muss außerdem die Sauerstoffmenge über vorgegebenen Grenzwerten gehalten werden. Der Kohlenmonoxidausstoß ist gesetzlich vorgegeben und kann zu einer Abschaltung des Systems führen, wenn die Grenzwerte überschritten werden.

Die Regelbrennstoffe werden als Stellgrößen verwendet. Dies ist hauptsächlich Kohle, doch in dem hier beschriebenen besonderen Fall kommt hochwertiger Abfallbrennstoff zum Einsatz. In beiden Fällen wird der Brennstoff pneumatisch zum Voralcalinator transportiert und stellt den schnellsten verfügbaren Aktuator des Systems dar. Außerdem werden bis zu fünf alternative Brennstoffe eingesetzt, die über Förderbänder zum Voralcalinator transportiert werden. Aufgrund der damit verbundenen Transportverzögerung von bis zu mehreren Minuten sind diese als Stellgrößen nicht geeignet.

3 Anwendungsbereich des Expert Optimizer



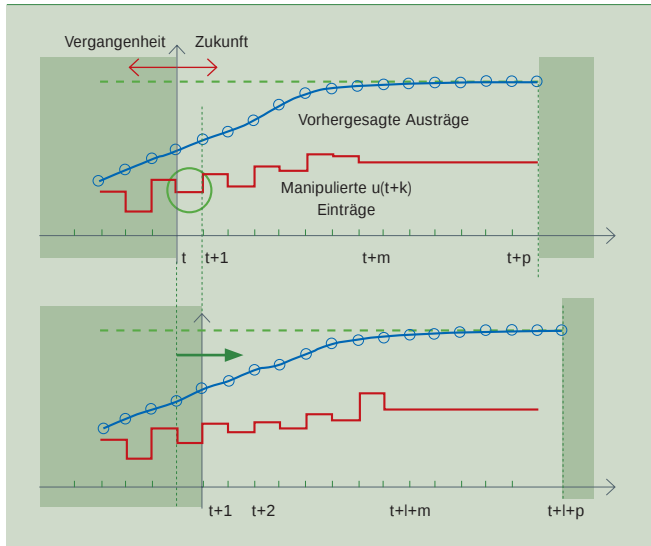
4 Aufzeichnungen des Anlagenbetriebs: Temperatur und Zieltemperatur **a**, Wärmeeintrag von der Verbrennung alternativer Brennstoffe **b**, Kohlezufuhr **c**.



Das mathematische Modell

Einen wesentlichen Anteil am Erfolg der modellprädiktiven Regelung in der Prozessindustrie hat das mathematische Modell, das einen wesentlichen Bestandteil der Regelungsstrategie darstellt. Generell gilt: Je genauer das Modell den realen Prozess wiedergibt, desto höhere Erwartungen können an die zu erreichende Regelgüte gestellt werden. Allerdings gilt häufig auch: Je genauer das Modell ist, desto sensibler wird ein Regler auf Prozessunsicherheiten reagieren. In diesem speziellen Fall ist die Unsicherheit und Variabilität des Prozesses signifikant. So verändern sich die Heizwerte der alternativen Brennstoffe zum Beispiel je nach Zusammensetzung des Abfalls ständig, doch die entsprechenden Modellparameter werden nur einmal im Monat aktualisiert. Das Modell besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen – dem Transportmodell und dem Verbrennungsmodell.

- 5 Das Hauptprinzip der MPC basiert auf einem bewegten Horizont (receding horizon). Nach jeder Abtastung wird die betrachtete Zukunft im Optimierungsalgorithmus entsprechend modifiziert.



Das Transportmodell entspricht einer zeitdiskreten Abbildung der verschiedenen Transportverzögerungen jeder Brennstoffzufuhr. Das Verbrennungsmodell besteht ebenfalls aus zwei Teilen: einer Wärmebilanz und einer Sauerstoffbilanz.

In der Wärmebilanz werden sämtliche Wärmeein- und Wärmestraße zum und vom Vorcalcinator berücksichtigt. Dazu gehören der Brennstoffeintrag, Gas- und Luftflussmengen, die Mehlaufuhr und die Reaktion der Entsäuerung (für die erhebliche Wärmemengen erforderlich sind). Unterschiedliche Zusammensetzungen des Rohmehls führen ebenfalls dazu, dass unterschiedliche Wärmemengen für die Entsäuerung benötigt werden. Normalerweise sind diese Schwankungen in der Zusammensetzung im Verhältnis zur thermischen Reaktion wesentlich langsamer, sodass sie in einem adaptiven Bias-Term berücksichtigt werden können. Ähnliche Überlegungen gelten auch für die Sauerstoffbilanz.

Ergebnisse

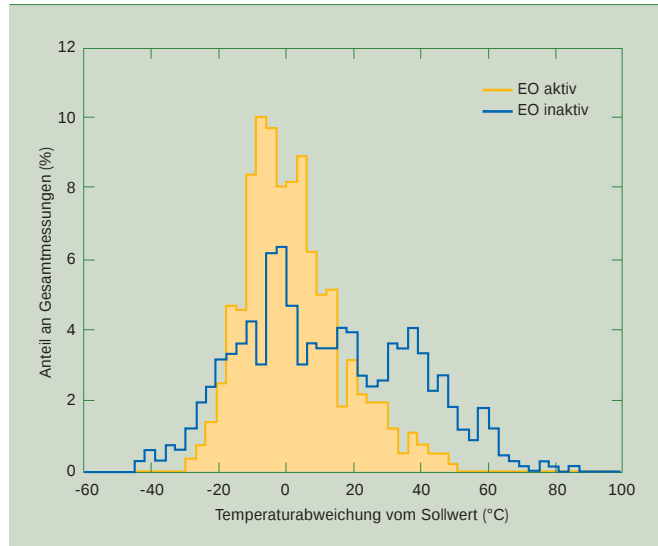
4 zeigt eine Aufzeichnung des Anlagenbetriebs. Im Diagramm 4a sind die Temperatur und die Zieltemperatur dargestellt. Das Diagramm 4b zeigt den Wärmeeintrag zum Verbrennungsmodell in Bezug auf alle alternativen Brennstoffe, und das Diagramm 4c die Hauptstellgröße, d. h. die Kohlezufuhr. Um die vom Regler erreichte Regeltüte mit der der Anlagenfahrer zu ver-

gleichen, wurden mehrere Zeiträume mit vergleichbaren Bedingungen ausgewertet. 6 zeigt die Verteilung des Regelfehlers. Die mit dem Expert Optimizer erzielten Resultate sind deutlich besser als die der Anlagenfahrer. Die Zieltemperaturen werden besser eingehalten, und die Abweichungen vom Sollwert sind geringer. Das bedeutet nicht, dass die Anlagenfahrer überflüssig sind, sondern dass sie sich gleichzeitig auch noch um andere Aufgaben kümmern können. Dies zeigt, dass eine entsprechende Regelung die Anlagenfahrer bei ihrer Tätigkeit unterstützen kann.

Fazit

Der Regler ist in der Lage, die Temperatur auf einem bestimmten Sollwert zu stabilisieren und die Variabilität in der Abweichung vom Soll zu reduzieren. So kann das System näher an der Qualitätsgrenze betrieben werden, was nicht nur energieeffizienter ist, sondern auch das Risiko von Ausfallzeiten mindert. Mithilfe der Regelung lassen sich weniger stabile Betriebspunkte mit niedrigeren Temperaturen erreichen, ohne dass die Gefahr einer unzureichenden Produktqualität besteht. Durch die allgemein niedrigere Temperatur wird zudem das Risiko von kapitalen Zyklonverstopfungen verringert. Somit schützt der Regler die Ausrüstung und erhöht die Verfügbarkeit. Eine wichtige Grundlage für den Erfolg des Projekts war die enge Zusammen-

- 6 Verteilung des Regelfehlers für Zeiträume mit automatischer Regelung (Expert Optimizer aktiv) und manueller Regelung (Expert Optimizer inaktiv)



arbeit zwischen den Teams von ABB und Holcim, die beide mit ihrer Kompetenz und gegenseitigem Wohlwollen zum Gelingen des Projekts beitrugen.

Konrad S. Stadler
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil, Schweiz
konrad.stadler@ch.abb.com

Eduardo Gallestey
ABB Process Automation, Minerals & Printing
Baden-Dättwil, Schweiz
eduardo.gallestey@ch.abb.com

Literaturhinweise

- [1] Stadler, K. S., Wolf, B., Gallestey, E.: „Model predictive control of the calciner at Holcim's Lägerdorf plant“, ZKG International, Vol. 60, No. 03-2007, S. 60–67, März 2007
- [2] Castagnoli, D., Kiener, M., Gallestey, E.: „Sicherung der Profitabilität“, ABB Technik 4/2006, S. 59–62

Siehe auch

Bolliger, M., Gallestey, E., Crosley, G., Kiener, M.: „Die Energieoptimierer – Energiemanagement in der Zementherstellung“, ABB Technik 2/2007, S. 53–57
Peray, K.E.: „The Rotary Cement Kiln“, Second Edition, New York, Chemical Publishing Co. Inc., 1986
Gallestey, E., Stothert, A., Castagnoli, D., Ferrari-Trecate, G., Morari, M.: „Using model predictive control and hybrid systems for optimal scheduling of industrial processes“, at-Automatisierungstechnik, Vol. 51, Nr. 6, S. 285–294, Juni 2003

Neue Wege in der HF-Alkylierung

ABB und ConocoPhillips entwickeln ein neues, wegweisendes Werkzeug für die Prozessanalyse

Michael B. Simpson, Michael Kester

Der von ABB und ConocoPhillips gemeinsam entwickelte Fourier-Transform-Infrarot-(FTIR-)Analysator zur Optimierung des HF-Alkylierungsprozesses hilft Erdölraffinerien dabei, ihre HF-Alkylierungsanlagen effizienter und sicherer zu betreiben und gleichzeitig die Umwelt zu schonen.



In den Anfangstagen der Erdölraffination in den 1920er und 1930er Jahren kamen die meisten Komponenten zum Blenden von Benzin direkt aus der Rohöldestillation (sog. „Straight-run“-Produkte). Im Grunde waren Raffinerien nicht viel mehr als Ölkocher. Die ersten Konversionsanlagen waren unkompliziert und dienten der thermischen Reformierung von Straight-run-Naphtha (Schwerbenzin) zur Gewinnung von Mischkomponenten mit höherer Oktanzahl zur Verbesserung der Produktqualität.

Während des Zweiten Weltkriegs erfuhr dieses Verfahren einen bedeutenden Aufschwung, als der Bedarf an hochoktanigem Flugbenzin stieg (zu dieser Zeit waren Militärflugzeuge hauptsächlich mit Kolbenmotoren ausgestattet, die mit hochoktanigem Kraftstoff betrieben wurden, und nicht mit Düsentriebwerken, die Kerosin benötigen).

Eine Reaktion auf den Bedarf an hochoktanigem Benzin war die Entwicklung einer neuen Konversionsanlage für Raffinerien: der mit Fluorwasserstoffsäure (HF-Säure) als Katalysator betriebenen HF-Alkylierungsanlage.

Die HF-Alkylierungsanlage (engl. HF Alkylation Unit, HFU) ist bis heute ein wichtiges Element der Raffination. Sie spielt eine entscheidende Rolle bei der Bereitstellung eines der wichtigsten Einsatzstoffe für das Benzinblending. Die Bedeutung der HF-Alkylierung hat mit der steigenden Zahl von FCC-Anlagen (Fluid Catalytic Cracking) in Raffinerien weiter zugenommen. In der FCC-Anlage werden schwere Produkte der Rohöldestillation durch katalytisches Cracken in leichtere, höherwertigere Produkte wie LCO (Light Cycle Oil) und FCC-Benzin umgewandelt, die entweder direkt oder nach der katalytischen Hydrierung (Hydrotreatment) zum Blenden der Endprodukte eingesetzt werden können. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass beim FCC-Prozess leichte Olefine entstehen (typischerweise Buten und Propen), die als Einsatzprodukte praktisch wertlos sind. Ebenso entsteht bei jedem Rohöldestillationsprozess ein Überschuss an leichten, nur begrenzt nutzbaren Endprodukten wie Butan. N-Butan kann leicht in Isobutan umgewandelt und zusammen mit den C3- bzw. C4-Olefinen

(Buten bzw. Propen) aus dem FCC-Prozess als Einsatzprodukt für die HF-Alkylierung verwendet werden.

In der HF-Alkylierungsanlage werden diese Nebenprodukte zu hochwertigem Alkylat aufbereitet, das als Komponente für das Benzinblending eingesetzt wird. Dieser wirtschaftlich außerordentlich bedeutende Prozess, bei dem die C4-Olefine aus dem FCC-Prozess und die C4-Isoalkane aus der Rohöldestillation verbraucht und mithilfe der katalytischen HF-Alkylierung (einer modifizierten Friedel-Crafts-Reaktion) in Isooktane umgewandelt werden, wird auch in Zukunft von zentraler Bedeutung für die Raffination sein.

Vor dem Hintergrund der heutigen Diskussion über saubere Kraftstoffe und ökologische Aspekte stellen Isooktane (Alkylate) den „Goldstandard“ bei den Einsatzprodukten für die Benzinherstellung dar. Sie haben hohe Research- (ROZ) und Motor-Oktanzahlen (MOZ), einen geringen Schwefelgehalt, einen niedrigen Reid-Dampfdruck (RVP) und nahezu keine Aromaten, was sie zu einer perfekten Benzinkomponente macht.

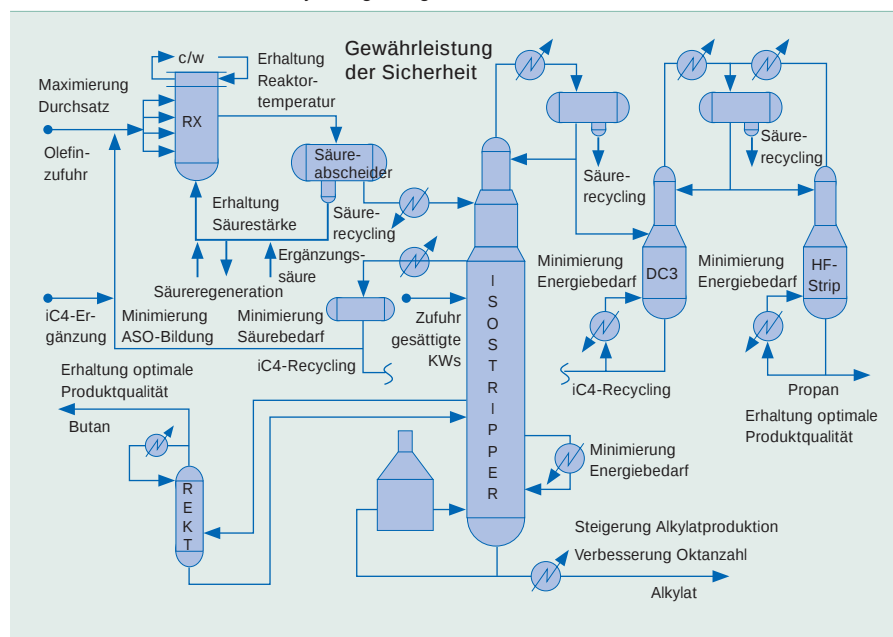
In den letzten 15 Jahren wurden die Anforderungen an die Zusammensetzung von Benzin unter dem Druck von Umweltbehörden in den meisten Regionen der Welt (allen voran in der

Europäischen Union und den USA) erheblich verschärft. Die Forderung nach einem geringeren Schwefel-, Benzol- und Aromatengehalt, einem niedrigeren Driveability Index (eine Kombination von Kraftstoff-Destillationseigenschaften), schränkt die Möglichkeiten der Raffineriebetreiber beim Blenden ihres Benzins ein.

Die beiden jüngsten Veränderungen mit der wohl größten Auswirkung auf den Benzinpool sind die Beseitigung von grundwasserbelastendem MTBE (Methyl-Tertiär-Butyl-Ether) und die Beimengung von CO₂-neutralem Bioethanol. MTBE ist eine Benzinmischkomponente mit einem niedrigen Dampfdruck und hoher Oktanzahl. Ethanol ist zwar ähnlich hochoktanig, doch es trägt erheblich zur Erhöhung des Reid-Dampfdrucks bei, weswegen auch kein Straight-run-Butan in größeren Mengen im selben Blendrezept verwendet wird. Somit ist das von der HFU produzierte Alkylat für die Raffineriebetreiber von besonderem Wert in ihrem Bemühen um die Erfüllung von Umweltvorschriften und anderen gesetzlichen Auflagen ¹.

Betriebliche Aspekte der HF-Alkylierung
Folglich stehen Raffinerien mit HF-Alkylierungsanlagen unter dem zunehmenden Druck, ihren Durchsatz zu maximieren, die Produktqualität zu verbessern, die Erträge zu steigern

1 Ziele beim Betrieb von HF-Alkylierungsanlagen



Prozesstechnik

und gleichzeitig einen sicheren Betrieb und eine geringe Umweltbelastung zu gewährleisten. Angesichts immer strengerer Anforderungen an die Benzinqualität und der wachsenden Aufmerksamkeit seitens der Behörden und der Öffentlichkeit im Hinblick auf die Verwendung von HF-Säure ist ein zuverlässiger und effizienter Betrieb von HFUs von entscheidender Bedeutung für den Ruf und die Profitabilität eines Unternehmens.

Der effiziente Betrieb einer HFU ist eine schwierige Aufgabe mit höchsten betrieblichen Ansprüchen. Diese sind auf verschiedene branchenspezifische Randbedingungen und Faktoren zurückzuführen, die sich auf den gesamten Anlagenbetrieb auswirken.

Betriebliche Anforderungen

- HFUs müssen in der Lage sein, Einsatzprodukte mit variierender Verunreinigung, KW-Zusammensetzung und Menge aufgrund der komplexen vorgelagerten Prozesse zu verarbeiten.
- Die Anlagenfahrer haben die schwierige Aufgabe, das Recycling von iC4 und die damit verbundenen Kosten zu minimieren und gleichzeitig Alkylat mit der gewünschten Qualität und minimalem Säureverbrauch zu produzieren.
- Die Anlagen müssen trotz der stetigen Gefahr eines unkontrollierten Säureverbrauchs (acid runaway), beschleunigter Korrosion und Freisetzung von HF auf sichere Weise betrieben werden.

Die Anforderungen an HF-Alkylierungsanlagen werden durch aktuelle Trends in der erdölverarbeitenden Industrie weiter erhöht.

Branchentrends

- Der kontinuierliche Ausbau von FCC-Anlagen und die Einführung neuer Cracking-Katalysatoren zur Deckung des steigenden Benzinbedarfs führen zur verstärkten Produktion von Einsatzstoffen für die Alkylierung.
- Der anhaltende Trend zum Cracking und zur Aufbereitung von Rückständen führt zu komplexeren und problematischeren Einsatzprodukten für die Alkylierung.
- Es besteht ein wachsendes Interesse an der Verarbeitung von C5-Olefinen,

um flüchtige Komponenten in den Benzinpool zurückzuführen und gleichzeitig die Produktmengen zu steigern.

- Die immer strengere Gesetzgebung hinsichtlich der Benzinqualität schränkt die Verwendung einiger derzeitiger Mischkomponenten ein.

Alle oben genannten Faktoren erfordern eine hohe Flexibilität der HFU im Hinblick auf die Verarbeitung von größeren Mengen variierender Einsatzprodukte bei gleichbleibend hoher Effizienz und Alkylatqualität. Seine idealen Eigenschaften für das Blending machen das Alkylat zu einem entscheidenden Element für die Erfüllung der Ertragsziele von Raffinerien und die Einhaltung von Umweltvorschriften.

Betriebliche Ziele

- *Optimierung der Alkylatqualität:* Die ROZ, der RVP und die Destillationseigenschaften des von der HFU produzierten Alkylats sind entscheidend für die weitere Verwendung beim anschließenden Benzinblending. Diese Parameter werden von der Reinheit des HF-Katalysators und insbesondere vom Wassergehalt beeinflusst, der innerhalb eines geeigneten Betriebsfensters optimiert werden muss. Da der Wassergehalt des HF-Recyclingstroms anfällig für Verunreinigungen ist, müssen diese rechtzeitig erkannt und entsprechend behandelt werden.
- *Minderung der Korrosion:* Die Minderung der Korrosion erfordert strikte Untergrenzen für die Reinheit der HF-Säure und Obergrenzen für den Wassergehalt. Durch die Einhaltung bestimmter Betriebsfenster werden die Turnaroundzeiten der HFU verlängert, die Wartungskosten erheblich gesenkt und die Gefahr einer Freisetzung von HF-Säure in die Umwelt begrenzt.
- *Verbrauch von HF-Säure:* Der einwandfreie Betrieb der HFU hängt von der erfolgreichen Trennung des Kohlenwasserstoffprodukts vom HF-Katalysator im Säureabscheider ab. Bildet sich dabei säurelösliches Öl (ASO) als Nebenprodukt und wird HF-Säure verbraucht (wodurch die Stärke der Säure abnimmt), kann der Prozess fehlschlagen. Die Folge ist ein rascher Verbrauch der übrigen Säure (acid runaway). Ein solcher Vorfall ist extrem kostspielig, aber

auch ein unvermeidbares Risiko beim Betrieb einer HFU. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Vorfalles kann aber durch sorgfältige Beobachtung der Säurestärke und des Anteils von ASO-Nebenprodukten deutlich verringert werden.

Die Partnerschaft von ABB und ConocoPhillips

Mitte der 1990er Jahre erkannte Phillips Petroleum (jetzt ConocoPhillips) die Notwendigkeit einer besseren Online-Prozessüberwachung und -regelung und suchte einen Partner aus dem Bereich der Prozessanalysetechnik, um gemeinsam eine Lösung zu entwickeln, die eine bessere Überwachung und Optimierung dieser komplexen Prozessanlagen ermöglichte. ABB war als renommierter Lieferant von FTIR-Prozessanalysatoren für Benzinblending- und nachgelagerte petrochemische Prozesse bekannt, und schon bald wurde eine produktive Partnerschaft zwischen ABB und ConocoPhillips Infobox zur gemeinsamen Entwicklung einer analysetechnischen Lösung ins Leben gerufen.

Zu der Zeit war die Überwachung der Schlüsselparameter des HF-Alkylierungsprozesses eine schwierige Angelegenheit. Sie basierte auf der teuren, langsamen und potenziell gefährlichen manuellen Entnahme von Proben des HF-Katalysators und der anschließenden Untersuchung der Säurestärke und der Verunreinigung durch kritische Stoffe wie Wasser und Nebenprodukten der Fluorierung (säurelösliche Öle).

Die Bestimmung der Reinheit der HF-Säure ist der Schlüsselparameter für eine Regelung und Optimierung der HFU – vorausgesetzt, diese Information kann schnell genug bereitgestellt werden, um Prozessstörungen wie vorübergehende Veränderungen der Säurestärke und Verunreinigungen durch Störungen in vorgelagerten Prozessschritten (z. B. FCC) zu erkennen.

1996 begann ABB, zusammen mit dem F&E-Labor von ConocoPhillips in Bartlesville, Oklahoma, ein entsprechendes Online-Säureanalysensystem zu entwickeln. Danach folgten zwei Jahre Test- und Entwicklungsarbeit an HFU-Pilotanlagen, die neben der Auslegung des Probenentnahmesystems auch metallurgische Aspekte und die

Entwicklung von Modellen beinhaltet. Im Mai 1998 wurde der Analysator in der Erdölraffinerie von Phillips in Sweeny, Jahren, installiert. Nach zwei weiteren Jahren erfolgreicher Testarbeit vor Ort war das System bereit für die branchenweite Implementierung. Der Online-Säureanalysator für die HF-Alkylierung wurde schließlich im Jahr 2000 auf dem Phillips Lizenznehmersymposium eingeführt.

Bis Dezember 2006 wurde das Online-Säureanalyssystem weltweit in fast 20 HF-Alkylierungsanlagen installiert und verfügt damit über eine Betriebshistorie von insgesamt über 40 Jahren. Die Systeme werden sowohl in Lizenzanlagen von ConocoPhillips als auch von UOP in Nord- und Südamerika, Europa und dem Mittleren Osten sowie in Anlagen von anderen großen Raffineriebetreibern eingesetzt.

Die Lösung von ABB und ConocoPhillips

Der entscheidende Durchbruch in der Entwicklung einer robusten und nützlichen FTIR-Prozessanalytischen Lösung zur

HFU-Überwachung und -optimierung war die Erstellung eines präzisen, vorkalibrierten chemometrischen Modells für die erforderlichen Prozessgrößen (HF-Säurestärke, Wassergehalt (%) und ASO-Gehalt (%)) [2].

Die herkömmlichen Laborreferenzverfahren für diese Messungen sind ungenügend und liefern im Gegensatz zu den üblichen Methoden zur Analytorkalibrierung keine zuverlässige Grundlage für die Entwicklung eines präzisen Kalibriermodells. Glücklicherweise ist die Zusammensetzung des HF-Säure-Recyclingstroms relativ einfach. So konnte ConocoPhillips das erforderliche universelle Kalibriermodell auf der Grundlage eines gravimetrisch ermittelten Kalibrierstandards entwickeln und unter realen Prozessbedingungen in einem Alkylierungsreaktor im Labormaßstab testen – allerdings ohne Olefinzufuhr, um die genaue Säurezusammensetzung während des Probelaufs konstant zu halten.

Die gewonnenen Daten waren von größter Bedeutung und bildeten die

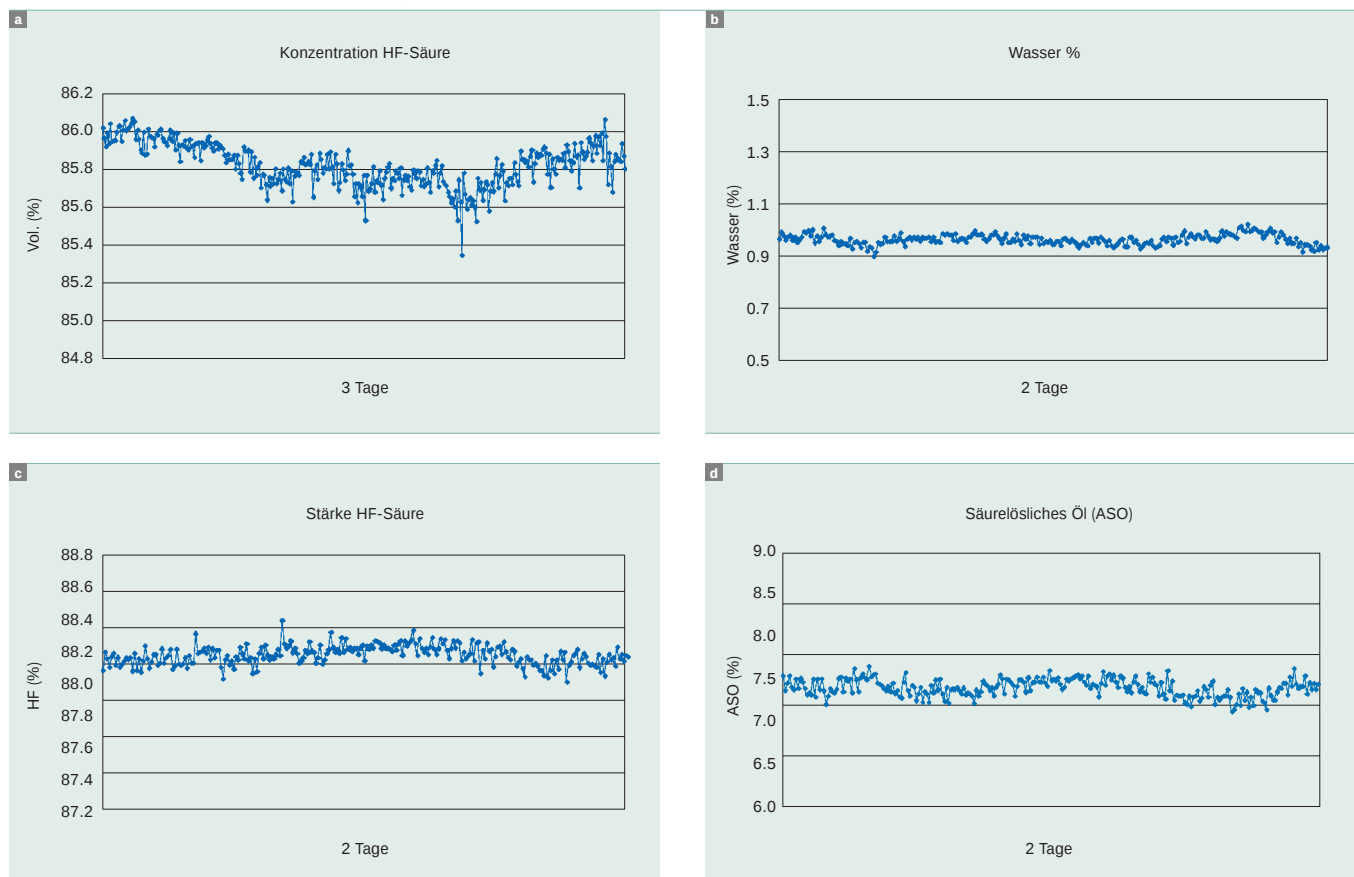
Grundlage für eine erfolgreiche Patentanmeldung, unter der ABB den FTIR-Prozessanalysator für die HF-Alkylierung in Lizenz anbietet.

Ein bedeutender Beitrag von ABB an dem Projekt war die Entwicklung eines sicheren und wartungsarmen Probenentnahmesystems, das nur einen minimalen Eingriff in den Säurebereich der HFU erfordert (für den eine volle Sicherheitsausrüstung mit C-Schutzanzug erforderlich ist).

FTIR-Analysatortechnologie

Der Mehrkanal-FTIR-Prozessanalysator auf Glasfaserbasis von ABB eignet sich ideal für diese Art der Anwendung. Er ermöglicht die physische Trennung der prozessnahen Probenentnahmestelle und der dazugehörigen Sicherheits- und Probenaufbereitungssysteme vom optischen System des Analysators (das normalerweise in der Leitwarte oder an einem anderen sicheren Ort untergebracht ist). Diese Anordnung ist entscheidend für die Online-Analyse hochgefährlicher Prozessströme wie HF-Säure.

2 Laufzeitdaten des ABB FTIR-Prozessanalysators für HF-Säure



Prozesstechnik

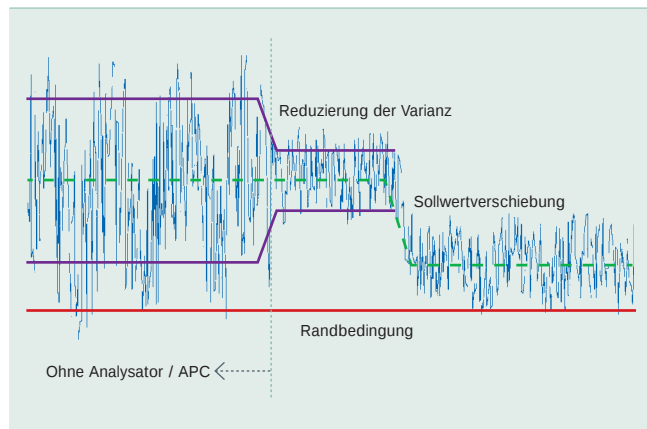
Ein weiterer Vorteil der ABB FTIR-Technologie ist ihre Fähigkeit zur Überwachung mehrerer Prozessströme mit einem einzigen Analysengerät. So können in HFUs zwei Säureströme (z.B. der Hauptrecyclingstrom und die Säureregenerierung) in Echtzeit überwacht werden, wodurch die Kontrolle der Reinheit der HF-Säure und die Effizienz der Regenerierung erheblich verbessert werden **3**.

Neben diesen Vorteilen bietet der FTIR-Analysator noch weitere interessante Optionen für die Regelung des HFU-Prozesses. Außer dem HF-Katalysator gibt es noch andere bedeutende Kohlenwasserstoffströme in der HFU, die von einer zuverlässigen, wartungsarmen und schnellen Analyse der Zusammensetzung profitieren würden. Die wichtigsten hiervon sind der Olefinzufluss und der iC4-Recyclingstrom vom IsoStripper. Zusammen beeinflussen diese beiden Ströme die Reinheit der HFU-Einsatzprodukte, was sich wiederum direkt auf den Säureverbrauch auswirkt. Zusammen mit den Messungen der Reinheit der HF-Säure können die Echtzeit-Prozessdaten dieser Ströme zur einer deutlichen Stabilisierung des Anlagenbetriebs beitragen.

Zusammenfassend bietet die Lösung von ABB und ConocoPhillips Mehrgrößen-Regelungstechnik von ABB verbunden mit der einzigartigen Möglichkeit zur raschen Online-Charakterisierung von HF-Säure-, iC4-Recycling-, Olefin/iC4-Ergänzungs- und Alkylatströmen. Daraus ergeben sich folgende Verbesserungen für den Betrieb von HF-Alkylierungsreaktoren:

- Optimierung der Zuflussraten, des Alkylatertrags und der Alkylat-Oktan-zahl unter Berücksichtigung von betrieblichen Randbedingungen
- Reduzierung des Isobutan/Olefin-Verhältnisses (I:O) und des Energieverbrauchs bei gleichzeitiger Erfüllung der Vorgaben hinsichtlich der Alkylatqualität und des Ertrags mit minimalem Säureverbrauch
- Optimierung der Isobutan-Ergänzungsrates unter Berücksichtigung von Randbedingungen hinsichtlich des iC4-Bestands

3 Echtzeit-Prozessüberwachung mit gehobener Prozessregelung (APC)



- Sicherung der optimalen Säurequalität in Bezug auf den HF-, ASO- und Wassergehalt. Dies wiederum führt zu:
 - weniger häufigen „Runaway“-Bedingungen
 - geringerem Säurebestand durch geringeren Ergänzungsbedarf
 - mögliche Verbesserung der Alkylat-Oktan-zahl durch kontrollierte Erhöhung des Wassergehalts im Katalysator. Laut eines bedeutenden Lizenznehmers kann bei einer Anlage mit einer Kapazität von 10.000 Barrel pro Tag und einem typischen I:O-Verhältnis von 10 durch die Erhöhung des Wassergehalts von 1,0 auf 2,0 Gew.-% ein Nutzen von über 1 Mio. USD erzielt werden.
 - weniger aggressiver Regeneratorbetrieb und geringere Säureverluste
 - höhere Alkylatqualität und -erträge

Factbox ConocoPhillips

Das Unternehmen mit Hauptsitz in Houston, Texas, ist – gemessen am Börsenwert, den nachgewiesenen Öl- und Gasreserven und der Produktion – das drittgrößte integrierte Energieunternehmen und der zweitgrößte Raffineriebetreiber in den USA. ConocoPhillips operiert in über 40 Ländern, beschäftigt 38.700 Mitarbeiter und ist weltweit bekannt für seine technologische Kompetenz auf den Gebieten Tiefseeexploration und -produktion, Lagerstättenmanagement und -erschließung, seismische 3-D-Technologie, Petrolkoks-aufbereitung und Entschwefelung.

www.conocophillips.com

- Regelung der Säure/Kohlenwasserstoff-Verhältnisse und der Reaktortemperatur zur Verbesserung der Produktqualität und Unterdrückung der ASO-Produktion
- Optimierung der Reaktorbedingungen zur Bewältigung von Schwankungen in der Zusammensetzung der Einsatzprodukte

Ein erweitertes Portfolio
Die erfolgreiche Entwicklung und Markteinführung des ABB FTIR-Prozessanalysators

für HF-Säure ist das Ergebnis einer äußerst fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen ABB und ConocoPhillips.

Als einer der größten Lizenzgeber für HF-Prozesse brachte ConocoPhillips seine umfassenden Kenntnisse über die realen Prozessüberwachungsanforderungen und kritischen Prozessgrößen in die Partnerschaft ein. Mithilfe seiner F&E-Abteilung war das Unternehmen außerdem in der Lage, die für die kommerzielle Nutzung des Analysators erforderliche Vorkalibrierung zu entwickeln.

ABB trug ihrerseits mit modernster FTIR-Technologie und Probenentnahmetechnik zum Gelingen des Projekts bei. Das Ergebnis ist eine fortschrittliche Lösung mit bedeutenden Vorteilen für beide Seiten: ConocoPhillips ist nicht nur in der Lage, seinen vielen Lizenznehmern ein leistungsstarkes Prozessanalysenwerkzeug an die Hand zu geben, sondern profitiert auch von der Implementierung der Technologie in seinen eigenen Raffineriebetrieben. ABB hingegen konnte ihr Portfolio von FTIR-Prozessanalysenlösungen für Raffinerien um einen einzigartigen Baustein erweitern.

Michael B. Simpson
ABB Analytical
Québec, Kanada
mike.b.simpson@gb.abb.com

Michael Kester
ABB Inc.
Houston, Texas, USA
michael.kester@us.abb.com

Die Technik hinter dem Wasserhahn

Optimierung der Wasserversorgung für die Stadt Basel

Daniel Moll, Thomas von Hoff, Marc Antoine

Trinkwasser aus dem Hahn steht auf unserer Welt nicht jedem zur Verfügung. Aber in Gebieten mit garantierter Versorgung ist Trinkwasser ein normaler Bestandteil des täglichen Lebens. Der durchschnittliche Wasserverbrauch liegt bei 120–160 l pro Person und Tag (bei abnehmendem Trend).

In der westlichen Welt muss das Leitungswasser Trinkwasserqualität haben und kontinuierlich verfügbar sein. Doch die Qualität des verfügbaren Quell- und Grundwassers erfüllt selten die strikten Qualitätsanforderungen der Behörden.

Für eine ökonomische Produktion und Versorgung mit hochwertigem Trinkwasser ist ein wohlgeordneter und überwachter Produktions- und Verteilungsprozess erforderlich.

Eine weitgehende Automatisierung ermöglicht die Reduzierung der Betriebs- und Wartungskosten und vereinfacht die Zusammenarbeit mit anderen Wasserversorgungseinheiten über größere Gebiete hinweg.



Prozesstechnik

Natürliches Trinkwasser stammt aus Quellen und aus dem Grundwasser. In den meisten Fällen reicht die verfügbare Menge der natürlichen Quellen nicht aus, sodass zusätzliche Mengen produziert werden müssen. Während der Produktion durchläuft das Wasser mehrere Behandlungsstufen, in denen die Qualität fortlaufend verbessert wird, bis schließlich Trinkwasserqualität erreicht ist. Nach dem Herausfiltern gröberer Partikel wird das Wasser in Waldgebieten drainiert, um das Grundwasser anzureichern. Während dieser Drainage wird das Wasser biologisch und mechanisch gereinigt. Unter Einsatz von Niederdruckpumpen wird das Wasser schonend aus dem Boden gefördert. Danach wird es ggf. chemisch nachbehandelt, bevor es ins Leitungssystem gepumpt und von dort verteilt wird. Die Topologie des Leitungssystems und das mit Wasser zu versorgende Gebiet bestimmen die Pumpstrategie.

Lösungen zur Anlagenoptimierung

Im Sinne einer kosteneffizienten Wasserversorgung sind die Wasserlieferanten ständig bestrebt, den Betrieb der Anlagen zu optimieren und die laufenden Kosten zu reduzieren. Leistungsstarke Diagnosewerkzeuge helfen ihnen dabei, Leistungsabweichungen zu identifizieren und rechtzeitig entsprechende Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Die ABB OPTIMAX® Produktpalette für die Anlagenoptimierung bietet verschiedene Produkte und Lösungen, um diese Anforderungen im Bereich der Stromerzeugung und Wasserversorgung zu erfüllen [1]. Diese Systeme stellen Anlagenbetreibern mit komplexen Erzeugungsportfolios Lösungen zur Verfügung, die die Kosten und die Energieerzeugung optimieren, unabhängig davon, ob es dabei um die Erzeugung von elektrischer Energie oder eine Kombination aus elektrischer Energie und anderen Energieformen (z. B. Wärme, Wasser, Abfall usw.) geht.

Modernisierung der automatisierten Wasserversorgung

Die Industriellen Werke Basel (IWB) **Infobox** betreiben gegenwärtig ein Wasserversorgungs-

system, das folgende Charakteristika in der zu bewirtschaftenden Zone aufweist:

- 12 Hochdruckpumpen
 - 1 interne Grundwasserdrainage sowie Sammelbecken inklusive 12 Brunnen (mit Niederdruckpumpen)
 - 1 externer Lieferant
 - 3 Doppelkammerreservoirs
 - ca. 26 Mio. m³ Jahresproduktion
- Neben einer geplanten Modernisierung des Automatisierungssystems für die Wasserproduktion waren die IWB auf der Suche nach einer Lösung zur Optimierung des Betriebs und der Wartung ihrer Anlagen. Das IWB-Konzept nennt sich „Betrieb ohne Beobachtung“ (BoB), und zeichnet sich dadurch aus, dass die Bedienung und Beobachtung bei den jeweiligen Pumpstationen (bzw. Reservoirstationen) betreuungsfrei verlaufen kann,

sodass das bisher dort eingesetzte Personal andere, wichtige Aufgaben des allgemeinen Betriebs übernehmen kann.

Als Teil dieses Konzepts erwarteten die IWB eine optimierte Lösung, die unter Berücksichtigung von Randbedingungen für einen bestimmten Bedarf (Wasserverbrauch) den optimalen Einsatz der Pumpen und Brunnen bestimmt. Diese Aufgabe kann als optimierte Einsatzplanung mit konfigurierbaren Randbedingungen verstanden werden. Das Betriebs- und Wartungspersonal erwartete, dass diese neue Lösung mindestens ebenso gut funktioniert wie die vorherige Praxis. Beim Betrieb ohne Beobachtung bestimmt ein intelligenter Regler „Fahrpläne“ für die Sollwerte der Pumpen und Brunnen, die vorher von den Bedienern festgelegt wurden. Die Optimierungskriterien sind wie folgt:

- die Sicherung der Wasserversorgung an sich
- das Erreichen der erforderlichen Wasserqualität
- die Minimierung der Betriebs- und Wartungskosten

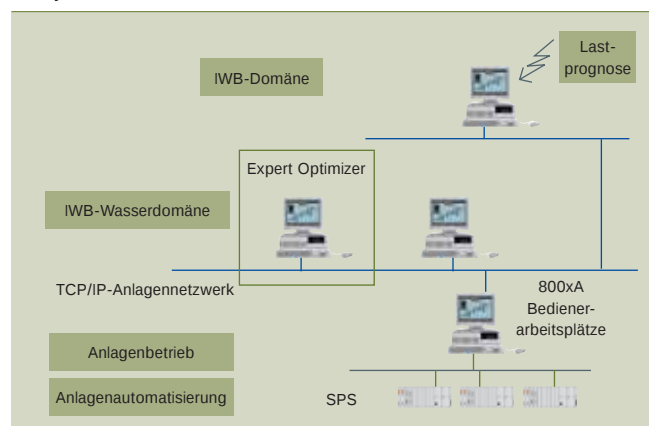
Mit anderen, mathematischen Worten: Der Optimierer löst ein hybrides Problem, das aus kontinuierlichen Größen (z. B. Wassermengen, Regelstände, Energie usw.) und aus diskreten Größen (z. B. das Ein- und Ausschalten von Aggregaten) besteht. OPTIMAX® Softwarelösungen, die auf modellprädiktiven Regelungsverfahren (Model Predictive Control, MPC) und Mixed Logical Dynamic (MLD) Systemen [2] basieren, werden dieser Aufgabe gerecht.

Infobox IWB

Die IWB (Industrielle Werke Basel) versorgen den Kanton Basel und die Gemeinde Binningen mit hochwertigem Trinkwasser. Seit dem 1. Januar 2007 hat das Trinkwasser der IWB sogar einen eigenen Namen: bälAqua. Eine Besonderheit der IWB ist der sogenannte biologische Reinigungsprozess. Dabei werden bewaldete Wasserstellen periodisch mit filtriertem Rheinwasser überflutet. Auf dem Weg durch das Erdreich wird das Wasser mechanisch und biologisch gereinigt. Dieser biologische Reinigungsprozess ist weltweit einzigartig und könnte auch andersorts zur Wasseraufbereitung angewendet werden.

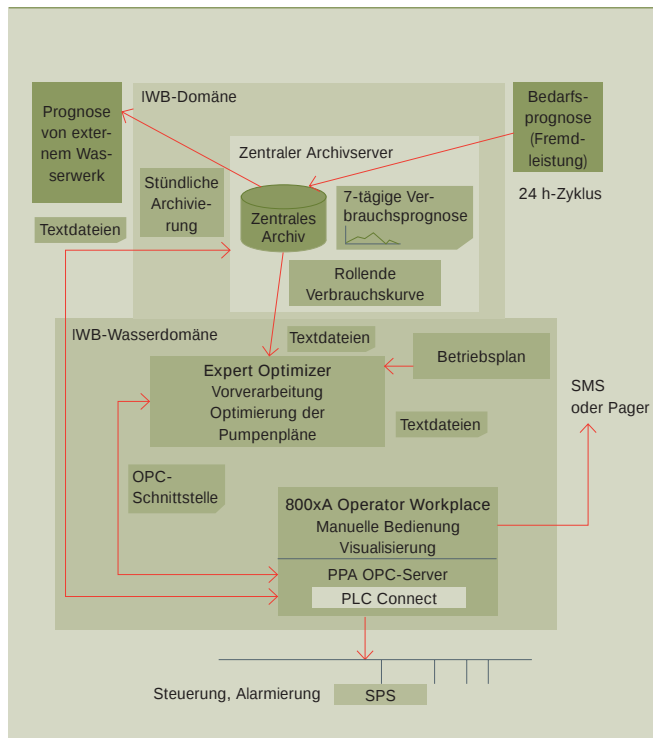
Weitere Informationen finden Sie unter www.iwb.ch

1 Systemaufbau



Zusammenarbeit zwischen IWB und ABB

Beim Betrieb ohne Beobachtung (BoB) muss die Anlage dieselben Leistungskriterien erfüllen wie eine manuell gesteuerte Anlage. Zur Definition der Designkonzepte und um die Integration der erforderlichen Intelligenz in die Optimierersoftware sicherzustellen, haben die IWB und ABB von Beginn des Projekts an eng zusammengearbeitet. Während ABB hauptsächlich das Know-how in Sachen Automatisierung und Opti-



mierung lieferte, steuerten die IWB die spezifischen Anlagenkenntnisse und Betriebserfahrungen bei.

Eine kundenspezifische Lösung

Das zugrunde liegende Automatisierungssystem

Das System 800xA von ABB beinhaltet gängige Funktionalitäten von Bedienerkonsolen und bietet Schnittstellen zur Hardware eines jeden Kunden, was eine Integration der gesamten bereits in einer Anlage installierten Ausrüstung ermöglicht.

Die Automatisierungssysteme in großen kommunalen Versorgungsbetrieben oder Kraftwerken sind normalerweise mit Gesamtinvestitionen in Höhe von mehreren Millionen Euro für Hardware und Engineeringkosten verbunden. Das ABB-System schützt diese Investitionen, indem es auf vorhandene Systeme aufbaut. Mit dem System 800xA von ABB haben sich die IWB für ein Prozessleitsystem mit einer Vielzahl neuer Funktionen und einer einheitlichen Benutzeroberfläche für verschiedene zugrunde liegende Reglerfamilien entschieden.

Die entwickelte Lösung: der Optimierer

Die gemeinsam entwickelte Lösung basiert auf System 800xA und dem

ABB Expert Optimizer . Vom Bedienerarbeitsplatz aus können Trends von historischen Werten und von Werten in die Zukunft aufgeschaltet werden. Falls gewünscht, kann der Optimierer vom Closed-Loop- zum Open-Loop-Betrieb, d. h. in den manuellen Betrieb umgeschaltet werden. Der Betrieb ohne Beobachtung wird bestimmt durch den Betriebsplan, der einige vorgegebene Pumpensollwerte bzw. Randbedingungen (z. B. eingeschränkte Verfügbarkeiten von Pumpen oder Reservoirs aufgrund von Wartungsarbeiten) beinhalten kann. Der voraussichtliche Wasserbedarf wird durch eine Prognosesoftware unter Berücksichtigung der Wettervorhersage von SwissMeteo für die nächsten 7 Tage mit einer stündlichen Auflösung berechnet. Die IWB stellen ABB diese Daten via Online-E-Mail-Service zur Verfügung. Auf der Grundlage dieser Daten und der entsprechenden Randbedingungen berechnet der Expert Optimizer den optimalen Einsatzplan für die Pumpen und Brunnen.

Die Kommunikation vom Datenarchiv und dem Betriebsplan zum Expert Optimizer erfolgt über Textdateien und der Datenaustausch zwischen dem Expert Optimizer und dem 800xA Arbeitsplatz via OPC¹⁾. Die Sollwerte

für die Pumpen und Brunnen werden stündlich an die einzelnen SPS²⁾ übertragen. Dabei werden außer dem aktuellen Sollwert auch die Sollwerte für die nächsten 71 Stunden übermittelt. Die so auf den SPS verfügbaren Sollwerte werden bei Störungen der Kommunikation oder des Optimierers abgefahren.

Da der Wasserbedarf nicht mit absoluter Bestimmtheit vorhergesagt werden kann – und weil Brunnen und Pumpen auch ausfallen können – werden die Pegelstände der Reservoirs und Brunnen von der SPS auf bestimmte Alarmgrenzen hin überwacht und geprüft. Ein Alarm löst eine Neuberechnung der Optimierung aus und führt zur Bestimmung neuer Sollwerte, die die geänderten Bedingungen berücksichtigen. Parallel dazu wird das Betriebspersonal per SMS oder Pager informiert, falls ein Eingreifen erforderlich ist.

Nachdem die detaillierten Designspezifikationen, die von den IWB und ABB regelmäßig bei Review Meetings besprochen wurden, festgelegt waren, wurden die grundlegenden Software-

Fußnoten

¹⁾ OPC = OLE for Process Control

²⁾ SPS = Speicherprogrammierbare Steuerung

Prozesstechnik

- 2 Status der Brunnen. In diesem Beispiel sind die Wassermengen von den verschiedenen Brunnen (dargestellt in blau, grün und gelb) gleich.



- 3 Füllung des virtuellen Reservoirs: Der tatsächliche Pegel (grün) folgt dem Sollwert (gelb) innerhalb der Toleranz (orange).



funktionen im Rahmen der Werksabnahme bei ABB getestet und anschließend vor Ort installiert. Das System wurde vom Kunden ausgiebig im Open-Loop-Modus getestet. Die Emp-

fehlungen des Optimierers wurden geprüft und ggf. entsprechende Anpassungen vorgenommen. Nach erfolgreicher Beendigung der Versuchsphase wird der Optimierer auf Closed-Loop-Betrieb umgeschaltet. Beispiele für die Anzeigen des Optimierers sind in 2 und 3 dargestellt.

Beispiel für ein Pilotprojekt, bei dem ein neues Betriebskonzept durch den Kunden eingeführt wurde.



Erfolgreiche Implementierung

Die IWB benötigten eine Lösung, um den Grad der Automatisierung und Optimierung in der Wasserproduktion deutlich zu erhöhen – sozusagen einen optimierten „Betrieb ohne Beobachtung“. Auf der Basis einer Online-Vorhersage des Wasserverbrauchs bestimmt die ABB-Lösung den optimierten Einsatzplan und die Sollwerte für die Pumpstationen und die Grundwasserbrunnen. Abweichungen von diesem Plan werden kontinuierlich überwacht und die Pläne ggf. angepasst. Das System läuft im Closed-Loop-Modus und benachrichtigt das Servicepersonal automatisch, falls ein Eingreifen erforderlich ist. Die Lösungskonzepte für dieses Szenario wurden mit dem Kunden gemeinsam entwickelt. Der Hauptnutzen für den Kunden ist die Senkung der Betriebs- und Wartungskosten bei gleichzeitiger Erhaltung der Wasserqualität und Sicherung der Wasserversorgung.

Die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen den IWB und ABB im Rahmen des Optimierungsprojekts ist ein gutes

Daniel Moll
IWB
Basel, Schweiz
daniel.moll@iwv.ch

Marc Antoine
ABB Schweiz AG, Power Systems
Baden, Schweiz
marc.antoine@ch.abb.com

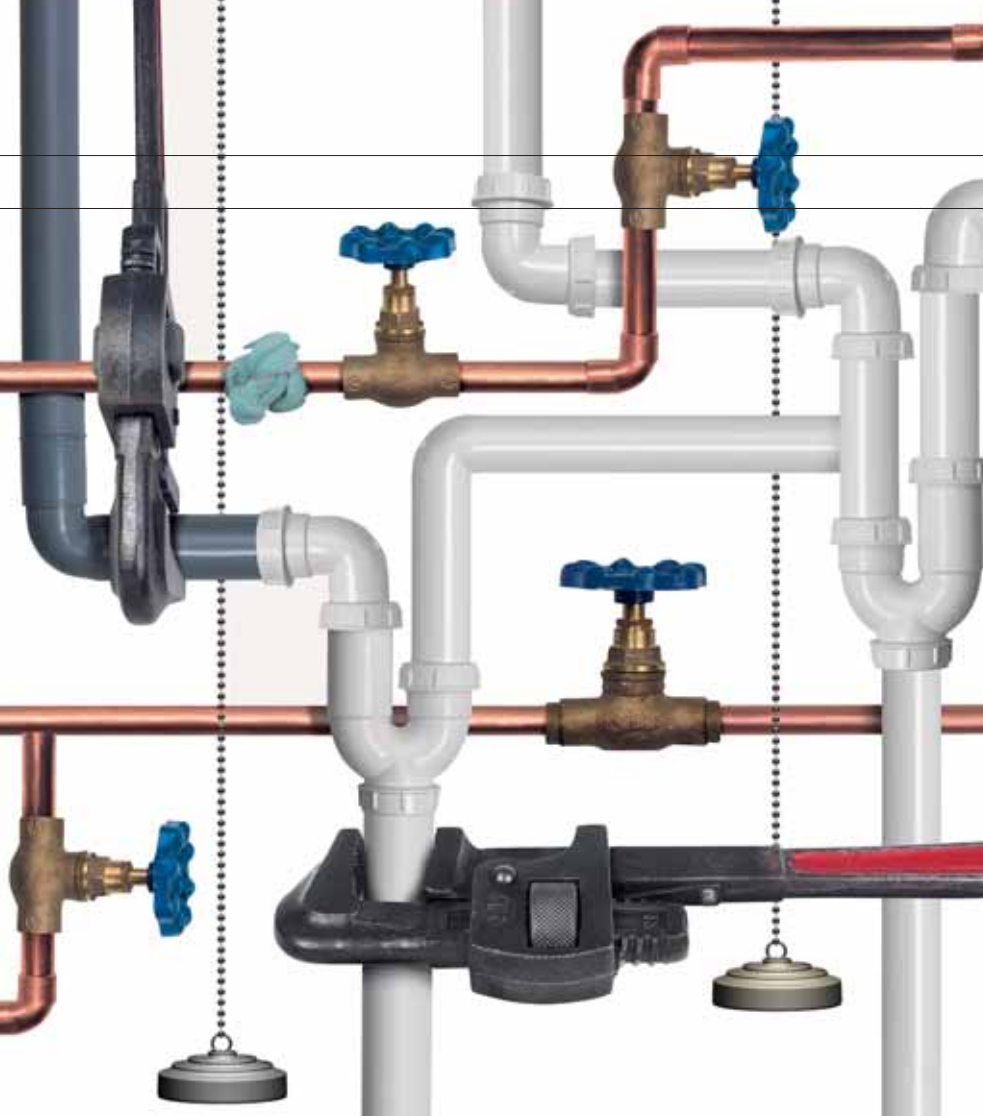
Thomas von Hoff
ABB Corporate Research,
Automation and Control
Baden-Dättwil, Schweiz
thomas.von.hoff@ch.abb.com

Literaturhinweise

- [1] OPTIMAX® Plant Optimization - Lösungen für die Stromerzeugung, DEABB-1291-06-D
- [2] Gallestey, E. et al.: „Using Model Predictive Control and Hybrid Systems for Optimal Scheduling of Industrial Processes“, Automatisierungstechnik, Vol. 51, Nr. 6, 2003

Siehe auch:

Antoine, M.: OPTIMAX® – Optimierung der betrieblichen und ökologischen Performance“, ABB Technik 2/2007, S. 44



Ein schlagendes Argument

Ein neuer Drehmoment-Regelungsalgorithmus in ABB Sanftanlassern verhindert Druckschläge in Rohrleitungen

Jesper Kristensson, Sören Kling

Wird der Motor einer Pumpe abrupt ausgeschaltet, führt die plötzliche Veränderung im Wasserfluss zu Druckwellen und Schlägen in Ventilen und Rohren. Dieser sogenannte Wasserhammer tritt häufig in Pumpsystemen mit langen Rohrleitungen und großen Förderhöhen auf und führt mit der Zeit zu einem erhöhten Verschleiß der Ausrüstung. Dieses Problem lässt sich durch sanftes Herunterregeln der Motoren mithilfe von Sanftanlassern reduzieren. Im Rahmen der erfolgreichen Zusammenarbeit mit ITT Flygt hat ABB auf der Basis ihres Sanftanlasser-Konzepts eine innovative Lösung entwickelt, die diese Druckschläge durch eine Regelung mit zeitlich optimalem Verlauf des Motordrehmoments vollständig beseitigt.

Die meisten Pumpen werden noch immer mithilfe herkömmlicher elektromechanischer Methoden – z. B. durch direktes Einschalten oder Stern-Dreieck-Anlauf – angelassen, wobei stets die Gefahr von Druckschlägen besteht. Es gibt jedoch verschiedene mechanische Lösungen wie hydraulische Ventile oder Druckbehälter, die diesem Effekt entgegenwirken. Allerdings sind diese Lösungen meist recht kostspielig, mit einem hohen Wartungsaufwand verbunden und erfordern – wie im Falle der Druckbehälter – relativ viel Platz.

In einem Versorgungssystem können Druckschläge zu einer drastischen Reduzierung der Lebensdauer von Rohren, Ventilen und Dichtungen, unerwünschten Unterbrechungen und höheren Wartungskosten führen. Durch den Einsatz von Sanftanlassern **Infobox 1** lässt sich die Intensität der Schläge zwar allgemein verringern, jedoch nicht vollständig verhindern.

Da sie zur Minimierung des mechanischen Verschleißes beitragen, werden Sanftanlasser in nahezu allen Drehstrommotoranwendungen eingesetzt [1]. ABB bietet zum Beispiel Sanftanlasser für Motoren und Pumpen bis 1.000 kW. Über 40 % der ABB Sanftanlasser werden zum Anlassen und Auslaufen von Drehstrommotoren in Pumpenanwendungen eingesetzt. Neben Pumpenanwendungen reicht das Einsatzgebiet von Sanftanlassern von gängigen industriellen Anwendungen wie Gebläsen, Kompressoren und Förderbändern bis hin zu speziellen Anwendungen wie Bugstrahlrudern bei Schiffen, Kompressoren in Erdgastankstellen und Schneekanonen. Doch um die Druckschläge vollständig zu eliminieren, muss das bisherige Design mit linearen Spannungsrampen zum Anlassen des Motors verbessert werden.

Auf der Suche nach einer intelligenten Lösung

Bei herkömmlichen Sanftanlassern wird die Motorspannung in der Anlaufphase linear erhöht (d. h. der Anlaufstrom ist niedrig) bzw. in der Auslaufphase gesenkt. Für die meisten Anwendungen reicht dies als Grundlage für eine gute Beschleunigung und ein gutes Auslaufen des Motors.

Prozesstechnik

Während Druckschläge in der Anlaufphase kein Problem darstellen, sieht die Situation in der Auslaufphase etwas anders aus. In einem komplexen Wasserversorgungssystem mit vielen Ventilen und entsprechenden Motoren hängt die Auswirkung beim Schließen eines der Ventile von der momentanen Konfiguration des Systems ab. So kann die Dynamik des Systems von einem An- und Auslaufvorgang zum anderen unterschiedlich ausfallen, da der Wasserfluss bzw. die

Anzahl der laufenden Pumpen im System variiert. Auch wenn in einem Fall die Druckschläge durch Veränderung der Parametereinstellungen verhindert werden, heißt es nicht, dass dies auch für andere Systemparameter zutrifft.

Besser wäre es, die Dynamik des Wassersystems bei der Regelung der Motorspannung mithilfe der Thyristoren des Sanftanlassers zu berücksichtigen ¹. Je mehr Messungen dem Sanftanlasser zur Verfügung stehen, desto besser lässt sich der Wasserfluss regeln. Gleichzeitig lässt sich der Einfluss der Motorspannung auf den Wasserfluss bestimmen. Über die Spannung ist es möglich, das Drehmoment zu regeln, das wiederum die Motordrehzahl und somit den Wasserfluss bestimmt ².

Mithilfe diverser Messungen und einem entsprechenden Drehmoment-Regelungsalgorithmus lässt sich die Verzögerung des Wassers in den Leitungen so regeln, dass Druckschläge beim Auslaufen der Pumpen verhindert werden.

Dies ist ein typisches Beispiel eines Regelkreises, jedoch mit der zusätzlichen Anforderung, dass die gleiche Lösung für alle Arten von Pumpen und Rohrkonfigurationen sowie sämtliche Motoren mit Leistungen zwischen 15 und 1.000 kW funktionieren muss. Ideal wäre eine Lösung, die keinerlei Feinabstimmung der Einstellungen erfordert. Um ein besseres Verständnis für diese variablen Anforderungen zu entwickeln, wandte sich ABB an ITT Flygt in Schweden ^{Infobox 2}.

Zusammenarbeit mit ITT Flygt

ITT Flygt und ABB hatten bereits an drehzahlgeregelten Antrieben und anderen Anlassenrichtungen zusammengearbeitet. Die Erfahrung von ITT Flygt auf dem Gebiet der Wasserversorgungssysteme sowie die hochentwickelten Simulationswerkzeuge des Unternehmens überzeugten ABB davon, den idealen Partner zur Lösung des Wasserhammerproblems gefunden zu haben.

Für ABB brachte die Arbeit mit den Simulationswerkzeugen wertvolle Erkenntnisse über die Frage, wie das Motordrehmoment und somit der Wasserfluss in der Pumpe in der Auslaufphase verringert werden muss, damit die Druckschläge verhindert werden.

Ob es zu Druckschlägen kommt, hängt von verschiedenen Parametern ab – z. B. dem Hauptrohrleitungs-

Infobox 1 Sanftanlasser

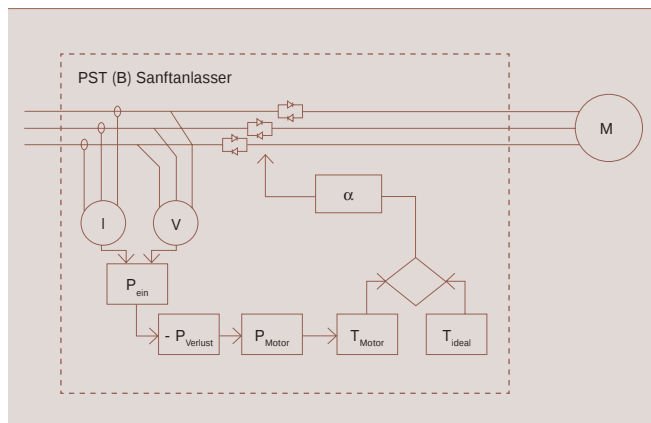
Sanftanlasser regeln die Spannung eines Motors beim An- und Auslaufen mithilfe von Thyristoren (steuerbare Siliziumgleichrichter). Dadurch wird der Strom verringert und der Motor und die Anwendung mechanisch weniger stark beansprucht als beim Anlassen mit voller Spannung oder anderen elektromechanischen Methoden. Ohne Sanftanlasser können elektrische, mechanische und betriebliche Probleme auftreten:

- Die Spannungs- und Stromspitzen können das örtliche Versorgungsnetz überlasten und Spannungsschwankungen verursachen, die zu flackernden Lichtquellen und Störungen in anderen elektrischen Geräte führen.
- Außerdem kann es zu gebrochenen Förderbändern, gerissenen Kupplungen, schleifenden Getrieben und erhöhtem Verschleiß der Motoren kommen.
- Druckschläge in Rohrleitungen, Beschädigungen an Produkten auf Förderbändern und unbequeme Fahrten mit dem Aufzug können die Folge sein.

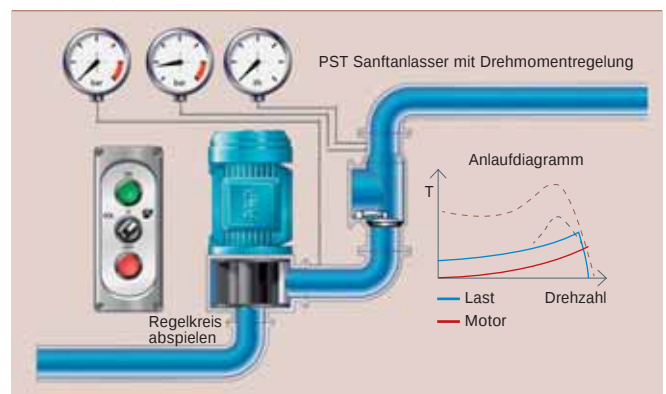
Infobox 2 ITT Flygt

Das 1901 gegründete Unternehmen mit Hauptsitz in Stockholm, Schweden, ist der weltweit führende Hersteller von Tauchmotorpumpen und -rührwerken. ITT Flygt beliefert und unterstützt Regierungen, Kommunen und Unternehmen bei ihren Aktivitäten auf den Gebieten Abwasserbehandlung, Hochwasserschutz, Energieerhaltung, Landgewinnung und Tunnelbau. Darüber hinaus werden die Produkte des Unternehmens im Bergbau, in der Industrie sowie der Land- und Wasserwirtschaft eingesetzt.

1 Motorregelung mit Rückführung (Feedback) von einem Wasserflusssystem



2 Sanftanlasser zur Regelung von Pumpen – Demonstration der positiven Wirkung von ABB PST Sanftanlassern mit Drehmomentregelung auf Strom, Drehmoment und Wasserfluss



system und seinen Komponenten, dem verwendeten Rohrtyp, der Förderhöhe, der Länge und dem Wasserfluss. Außerdem müssen weitere Parameter wie die Verrohrung der internen Pumpstation berücksichtigt werden. Aufgrund der langsamen Dynamik der Ventile kommt es häufig zum Schlagen von Rückschlagventilen.

Beim Auslauf ist das Problem akuter. Der kritischste Parameter in dieser Phase ist die Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit. Dies und die tatsächliche Anzahl der in Betrieb befindlichen Pumpen beeinflussen die Anforderungen beim Herunterregeln der einzelnen Pumpen. ITT Flygt verfügte bereits über ein detailliertes Analysetool, das in der Lage ist, eine transiente Analyse des Systems durchzuführen und in schwierigen Fällen

bei der Konstruktion spezieller Rohrkonfiguration eingesetzt wird. Im Rahmen des Projekts lieferte es ABB wertvolle Informationen zu kritischen Wasserflussparametern während des Pumpenauslaufs.

Mit klaren Vorgaben von ITT Flygt darüber, wie eine Drehmomentregelung funktionieren muss, damit Druckschläge verhindert werden und die Lebensdauer und Verfügbarkeit der Pumpen verlängert wird, machten sich die Forscher von ABB daran, die gewünschte Lösung zu entwickeln. Dabei erweist sich ITT Flygt als hervorragender Berater im Hinblick auf die allgemeine Fragestellung, wie durch die Verwendung von Sanftanlassern die Zuverlässigkeit von Pumpstationen verbessert werden kann oder welche intelligenten Funktionen den Einsatz von Sanftanlassern in Pumpenanwendungen vereinfachen würden.

3 Der neue ABB Sanftanlasser für Pumpenanwendungen



Sanftanlasser müssen ein breites Anwendungsspektrum von Haushaltsgeräten bis hin zu Pipelines abdecken.



Im Mittelpunkt der von ABB entwickelten Lösung zur Beseitigung von Druckschlägen steht die optimale, zeitabhängige Regelung des Motor-drehmoments. Das erforderliche Drehmoment wird mithilfe von Messungen und komplexen Berechnungen bestimmt. Das so berechnete Drehmoment wird dann in der An- und in der Auslaufphase mit einer idealen Drehmomentkurve verglichen. Ist das Drehmoment zu gering, wird die Motorspannung mithilfe der Thyristoren erhöht. Auf die gleiche Weise wird die Spannung gesenkt, wenn das gemessene Drehmoment zu hoch ist. Während der An- und Auslaufphase erfolgen sowohl die Messungen als auch die Regelung in Echtzeit – und zwar schnell und präzise genug, um eine Regelung der Drehzahl aller möglichen Pumpen und Motoren in sämtlichen Rohrkonfigurationen zu gewährleisten.

Die verfügbaren Prototypen wurden zunächst bei ABB und dann in den Forschungslabors von ITT Flygt in Stockholm getestet. Später wurden Feldversuche an mehreren Pumpstationen durchgeführt, an denen ITT Flygt bereits neue Pumpenmodelle und Prototypen testete. Die Versuche an echten Systemen halfen dabei, sowohl die Simulationsergebnisse als

auch den Drehzahl-Regelungsalgorithmus zu validieren. Darüber hinaus wurden die Versuchsstationen genutzt, um Endkunden die positive Wirkung der Drehzahlregelung beim Anhalten der Pumpen zu demonstrieren.

Durch die enge Zusammenarbeit zwischen ABB und ITT Flygt in der ersten Designphase konnten Veränderungen am Regelungsalgorithmus frühzeitig umgesetzt werden, was die Produktentwicklungsphase erheblich verkürzte. Auf der Grundlage dieser erfolgreichen Zusammenarbeit werden beide Unternehmen ein gemeinsames Pumpensystem auf verschiedenen Messen vorstellen, das die Vorteile einer Tauchmotorpumpe von ITT Flygt in Verbindung mit dem ABB PST Sanftanlasser mit dem neu implementierten Drehzahl-Regelungsalgorithmus demonstriert [3].

Auf dem Weg zu einer breiteren Anwendung

Die Wahl eines führenden Kunden als Kooperationspartner zur Deckung der allgemeinen Marktanforderungen erweist sich für beide Seiten als vorteilhaft. So führte der offene Austausch wichtiger Designdaten und Ideen nicht nur zu einer innovativen Lösung zur Beseitigung von Druckschlägen, sondern lieferte auch wertvolle Erkenntnisse, die sich auf ähnliche Herausforderungen in anderen Anwendungen übertragen lassen, bei denen es zum Beispiel darum geht, die Anlaufströme und mechanischen Beanspruchungen in Kompressoren, Gebläsen, Bugstrahlrudern oder Förderbändern zu minimieren.

Jesper Kristensson
Sören Kling
ABB AB, Cewe-Control
Västerås, Schweden
jesper.kristensson@se.abb.com
soren.kling@se.abb.com

Literaturhinweis

[1] Johansson, Helena M.; Kling, Sören:
„Reibungslos von Beginn an“, ABB Technik
3/2004, S. 22–26

Mit vereinten Kräften

Statnett, SINTEF und ABB arbeiten gemeinsam an der „Zähmung“
des norwegischen Stromnetzes

Petr Korba, Ernst Scholtz, Albert Leirbukt, Kjetil Uhlen

Stromnetze wie das in Norwegen können sich über Tausende von Kilometern erstrecken, um Generatoren und Verbraucher über zahllose Unterstationen und ein riesiges Netz aus Kabeln und Freileitungen miteinander zu verbinden. In einem gut funktionierenden Netz werden Störungen ausreichend gedämpft, um einen Zusammenbruch des Netzes zu verhindern. Mit der zunehmenden Auslastung der Netze aufgrund des stetig steigenden Strombedarfs ist die Grenze des stabilen Betriebs jedoch fast erreicht.

Um das Netz als Gesamtsystem ausgeglichen zu halten, ist eine Weitbereichsüberwachung und -regelung erforderlich. Dies klingt einfach, doch in einem komplexen, oszillierenden System wie einem Stromnetz ist es eine echte technische Herausforderung. Daher haben sich der norwegische Netzbetreiber Statnett, die norwegische Stiftung für wissenschaftliche und industrielle Forschung SINTEF und ABB als Technologieanbieter zusammengeschlossen, um dieses Problem zu lösen.

Energietechnik

griert wurden. Am bekanntesten sind wohl die Hochspannungs-Gleichstromübertragungssysteme (HGÜ) aus den 1970er Jahren. Seit 1999 arbeitet ABB mit Statnett und SINTEF in mehreren F&E-Projekten zusammen, die sich mit dem Einsatz von Weitbereichsüberwachungssystemen (Wide Area Monitoring Systems, WAMS) und der Weitbereichsregelung zur Steigerung der Energieübertragung des norwegischen 420-kV-Übertragungsnetzes befassen. Die Arbeit ist in zwei Hauptphasen unterteilt:

1999 bis 2004

Das Projekt „Norwegian Intellectric“ mit dem Ziel, die Auslastung und Betriebssicherheit des Übertragungsnetzes mithilfe intelligenter Überwachungsanwendungen und Regelungskonzepte auf der Grundlage neuer Mess- und Kommunikationstechnologien zu erhöhen.

2005 bis heute

Das Projekt „Secure Transmission“ zur Implementierung eines WAMS im 420-kV-Netz und Demonstration neuer Konzepte für einen sicheren Betrieb des Stromnetzes.

Eines der ersten Überwachungskonzepte auf der Basis neuer Messtechnologien, die getestet wurden, war der Voltage Instability Predictor (VIP) von ABB. Dieser liefert dem Netzbetreiber lokale Informationen über den Leis-

tungsspielraum bis zum Zusammenbruch der Spannung an einer bestimmten Unterstation [2]. Später wurde die Vektormessung entwickelt, bei der Vektormessgeräte (Phasor Measurement Units, PMUs) zeitsynchronisierte Werte der Amplituden und Winkel von lokalen Sinussignalen mit hoher zeitlicher Auflösung liefern [3]. Die PMU-Signale werden dann von einem Verarbeitungsalgorithmus ausgewertet, um die Funktionalität des verwendeten Energiemanagementsystems zu unterstützen. Durch eine direkte Anbindung an flexible Drehstrom-Übertragungssysteme (FACTS) können so drohende Instabilitäten schnell beurteilt werden.

Weitere Zusammenarbeit

Jedes große Stromnetz weist charakteristische Oszillationen zwischen einzelnen Gebieten auf. Die im skandinavischen Netz hauptsächlich auftretenden Oszillationen haben eine Frequenz von 0,3 bis 0,5 Hz. Diese sind den Planungsabteilungen der Netzbetreiber aus Offline-Untersuchungen bekannt. Quantitativ lassen sich Oszillationen durch verschiedene frequenz- und zeitbezogene Parameter wie die Eigenfrequenz und -dämpfung, Amplitude und Phase charakterisieren. Einer der bedeutenden Vorteile eines WAMS ist die Möglichkeit, weiträumige dynamische Phänomene wie elektromechanische Oszillationen in Echtzeit zu erkennen

und direkte Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

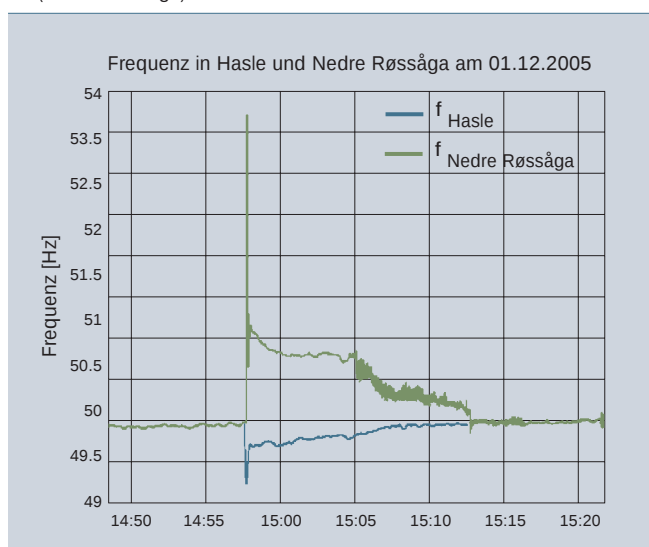
Um mit so wenigen Messstellen wie möglich einen umfassenden Überblick über die Oszillationen zu erhalten, galt es zunächst die geeigneten Standorte für die wenigen PMUs zu bestimmen. Dabei musste Folgendes gewährleistet sein:

- die Möglichkeit zur Erkennung der charakteristischen Schwingungsarten
- der Zugriff auf Spannungs- und Strommessungen von Messgeräten und Zählern
- der Zugriff auf bestehende Ethernet-Kommunikationsverbindungen zur raschen Übertragung der umfangreichen Daten von einem PMU an eine Datenverarbeitungseinheit

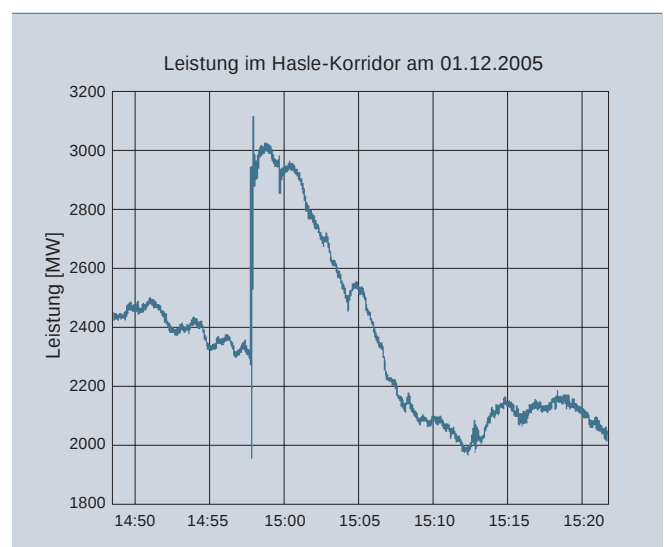
Mithilfe einer detaillierten, gemeinsam mit dem Kunden durchgeführten Analyse und dessen fundierten Kenntnissen des Systems wurden vier geeignete Standorte bestimmt: die Unterstationen in Hasle, Fardal, Kristiansand und Nedre Røssåga **1**.

An diesen vier PMU-Stationen wurden zahllose Messdaten gesammelt und analysiert, um die Informationen des Systems unter nominalen Betriebsbedingungen und die dynamische Reaktion bei kritischeren Systemstörungen zu bestimmen. Am 1. Dezember 2005 kam es zu einer größeren Störung im nordischen Stromnetz, die

2 Erfasste Netzfrequenzen in Südnorwegen (Hasle) und Mittelnorwegen (Nedre Røssåga)



3 Leistungsfluss in 420-kV-Leitungen von Hasle nach Schweden



Die weiträumige Auswirkung dieser lokalen Störung ist deutlich – und dank der zeitsynchronisierten Aufzeichnung in Echtzeit – in den in [2] und [3]¹⁾ dargestellten PMU-Messungen zu sehen. [2] zeigt die aus Spannungsvektormessungen in Hasle (Südnorwegen) bzw. Nedre Røssåga (Nordnorwegen) ermittelte Systemfrequenz. Die Zeitpunkte der Netztrennung und Resynchronisation sind gut zu erkennen. Die Unsymmetrie aufgrund der Abschaltung eines Gebiets mit bedeutendem Erzeugungsüberschuss im Norden Skandinaviens führte zur Aktivierung von Primärreserven im restlichen System. Der plötzliche Anstieg des Leistungsflusses im Hasle-Korridor in Richtung Schweden zeigt, dass ein großer Teil des Leistungsdefizits durch Erzeugungseinheiten in Südnorwegen kompensiert wird.

mit zeitveränderlichen Koeffizienten und Kalman-Filterverfahren die am besten geeigneten Modellparameter [4]. Diese Methode zur Online-Erkennung von Oszillationen wurde auf die gemessene Reaktion der Leistungs-

A map of the Nordic power grid (SVERIGE, NORWAY) showing interconnectors and control centers. The map includes labels for PMU (Phasor Measurement Unit), PSS (Power System Stabilizer), SVC (Static Var Compensator), and 0.33 Hz. The map shows the power grid structure with various interconnectors and control centers. The map is color-coded with red and green lines representing different types of interconnectors. The map also shows the locations of major cities and power plants.

- 1) Früher wäre die Erstellung einer solchen dynamischen Weitbereichsansicht sehr schwierig und zeitaufwändig und nur nach Eintreten des Ereignisses möglich gewesen.
- 2) In Zukunft ist die Erweiterung zu einem modellbasierten Reglerdesign möglich.

Energietechnik

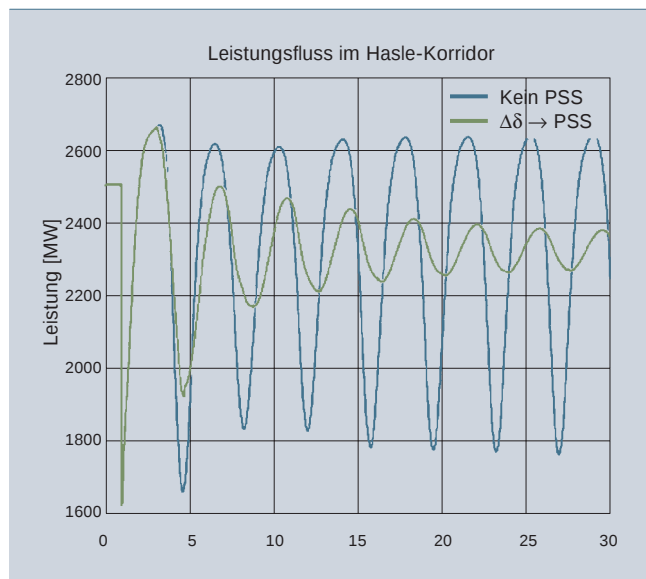
übertragung über den Hasle-Korridor **3** während der Störung im Dezember 2005 angewandt.

Die resultierende Schätzung der vorherrschenden Oszillation ist in **4** dargestellt. Der stufenartige Abfall der relativen Dämpfung von etwa 15 % vor dem auslösenden Ereignis auf 4–7 % im Zeitraum nach der Störung ist deutlich zu sehen. Die Frequenz der Oszillation – die auch von der aktuellen Netztopologie und den Leistungsflüssen abhängt – bleibt hier nahezu unverändert. Sie bewegt sich um ihren Mittelwert herum und steigt nach der Störung nur leicht von 0,39 auf 0,42 Hz. Ähnlich steigt auch die geschätzte Amplitude in den ersten 15 Sekunden nach dem Ereignis vorübergehend an. Durch die Wahl geeigneter Schwellwerte lässt sich diese Art von Information zur automatischen Alarmierung des Bedienpersonals verwenden.

Nachdem diese Warnungen eingegangen sind, muss das Bedienpersonal entsprechende Korrekturmaßnahmen einleiten, um das System zu stabilisieren. Zurzeit sind mehrere statische Blindleistungskompensatoren (Static Var Compensator, SVC – ein FACTS-Gerät) im norwegischen Netz mit einer Dämpfungsfunktion (Power-Oscillation Damping, POD) ausgestattet, bei der lokale Messungen (z. B. Sammelschienenspannung bzw. -leistung) zur Dämpfung von elektromechanischen Oszillationen zwischen einzelnen Gebieten herangezogen werden. Dies funktioniert zwar gut, doch sind lokale Messungen möglicherweise nicht in allen Fällen ausreichend, um eine hinreichende Schwächung von kritischen Oszillationen zwischen einzelnen Netzbereichen zu gewährleisten.

Das Ziel des gemeinsamen Projekts von Statnett, SINTEF und ABB besteht darin, die Verwendung von PMU-Fernmessungen als Eingangssignale zur Dämpfung der kritischen Oszillationen im erweiterten Netz mithilfe der vorhandenen SVC-Einheiten zu untersuchen.

6 Leistungsfluss im Hasle-Korridor mit und ohne Dämpfungsregelung



Als erster Schritt wurde eine Computersimulationsstudie mit den PMU-Messungen aus Hasle, Kristiansand, Nedre Røssåga und Fardal durchgeführt. Zur Ermittlung der optimalen Parameter für den Dämpfungsregler wurden verschiedene bestehende Verfahren zur automatischen Regelung (Lead-Lag, H-unendlich und adaptive Methoden) getestet. **5** und **6** zeigen, wie die SVC-Einheit in Sylling bei Oslo mithilfe von Spannungswinkeln der PMUs in Kristiansand und Nedre Røssåga zur Dämpfung von Oszillationen um 0,33 Hz abgestimmt werden kann.

Die daraus resultierende Dämpfung der Niederfrequenz-Oszillation zeigt deutlich den Vorteil der WAMS-Technologie, die es ermöglicht, fundierte und frühzeitige Regelungs- und Schutzmaßnahmen auf der Grundlage von hochauflösenden PMU-Messungen zu treffen.

Fazit

Die enge Zusammenarbeit von Technologieanbietern wie ABB und Tech-

nologienutzern wie Statnett ist der einzige praktikable Weg, um Lösungen für die Herausforderungen eines so komplexen Systems wie eines Stromnetzes zu entwickeln. Die hier behandelten technischen Probleme gelten in ähnlicher Form auch für viele andere Energiesysteme und deren Betreiber. Die einzigartigen Erfahrungen, die ABB im Rahmen dieser gemeinsamen F&E-Arbeit gewonnen hat, fließen als kritisches Feedback richtungsweisend in die Entwicklung neuer Produkte ein, um eine bessere und zuverlässigere Nutzung vorhandener Stromnetze zu gewährleisten.

Petr Korba
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil, Schweiz
petr.korba@ch.abb.com

Ernst Scholtz
ABB Inc USA, Corporate Research
Raleigh, NC, USA
ernst.scholtz@us.abb.com

Albert Leirbukt
ABB Norway, Power Systems
Oslo, Norwegen
albert.leirbukt@no.abb.com

Kjetil Uhlen
SINTEF, Norwegen

Literaturhinweise

- [1] Korba, P., Larsson, M., Oudalov, A., Preiss, O.: „Blick in die Zukunft, neue Wege in der Netzregelung“, ABB Technik 2/2005, S. 35–38
- [2] Leirbukt, A., Uhlen, K., Palsson, M. T., Gjerde, J. O., Vu, K., Kirkeluten, Ø.: „Voltage Monitoring and Control for Enhanced Utilization of Power Grids“, IEEE PSCE, New York, 2004
- [3] Leirbukt, A., Gjerde, J. O., Korba, P., Uhlen, K., Vormedal, L. K., Warland, L.: „Wide Area Monitoring Experiences in Norway“, Power Systems Conference & Exposition (PSCE), Atlanta, 29. 10. – 1. 11. 2006
- [4] Korba, P.: „Real-Time Monitoring of Electromechanical Oscillations in Power Systems“, IEE Proceedings of Generation Transmission and Distribution, Bd. 1, S. 80–88, Januar 2007

Steuerung und Schutz

Entwicklung eines Steuerungs- und Schutzrelais für Mittelspannungsabzweige

Mohamed Y. Haj-Maharsi, Deia Bayoumi, Thomas G. Sosinski, Doug Voda

Um eine über das normale Maß hinausgehende Sicherheit und Produktivität zu erreichen, benötigt ein Unternehmen eventuell spezielle Einrichtungen, deren Spezifikationen über die von Systemen „von der Stange“ hinausgehen. Vor dieser Herausforderung stand auch Hydro-Québec bei der Beschaffung neuer Schutzrelais für seine Mittelspannungsabzweige. Die enge Zusammenarbeit mit ABB führte schließlich zur Lösung des Problems.

Hydro-Québec gilt als führend auf dem Gebiet des Netz- und Geräteschutzes, d. h. das Unternehmen entwickelt ständig neue Schutzanforderungen, bei denen die Sicherheit der Mitarbeiter an erster Stelle steht. Um den Schutz und die Zuverlässigkeit seiner Mittelspannungsabzweige zu verbessern, wollte Hydro-Québec seine Abzweige mit der neuesten Generation von mikroprozessorgesteuerten Schutzrelais aufrüsten. Gegenüber anderen Standard-Schutzprodukten bietet diese Lösung mehrere Vorteile in puncto Sicherheit, Wartungsfreundlichkeit und Leistungsfähigkeit. Der Schlüssel hierzu liegt in einer Lösung mit redundanter Stromversorgung, die Haupt- und Reserveschutzelemente in einem einzigen Gehäuse kombiniert.

Zu den Vorteilen dieser Lösung gehören eine höhere Leistungsfähigkeit, eine höhere Zuverlässigkeit der elektronischen Geräte und eine längere Relaislebensdauer bei gleichzeitiger Senkung der Nachrüst-, Schulungs- und Wartungskosten. Der Austausch der alten Ausrüstung gegen neue Schutzsysteme wird durch die besondere Bedeutung von Anwendungs- und Produktdesign bei Hydro-Québec erleichtert.

Energietechnik

Die nachweisliche Fähigkeit von ABB, multifunktionale Lösungen zu entwickeln, die vielseitige Kommunikationsmöglichkeiten und innovative Schutzfunktionen (Engineered for Safety™) in einer einzigen Einheit kombinieren, veranlasste Hydro-Québec dazu, ABB als Hauptlieferanten für die Schutz-, Steuerungs- und Automatisierungslösungen seiner Mittelspannungsabzweige zu wählen.

Die Spezifikationen von Hydro-Québec enthielten erweiterte Anwendungs- und Analyseanforderungen gepaart mit hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und der Forderung nach einer benutzerfreundlichen Schnittstelle. Eine Erfüllung dieser Anforderungen war nur möglich durch eine enge Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Mitarbeitern beider Unternehmen in sämtlichen Phasen der Produktplanung, Entwicklung, Materialauswahl, Produktvalidierung und Fertigungszertifizierung. Das Zusammenspiel aller Mitwirkenden eröffnete neue Möglichkeiten im Bereich der Entwicklungsverfahren, der Materialauswahl und der Erprobung des Endprodukts. Das Ergebnis ist ein Produkt, dass sich durch erstklassige Funktion und Leistungsfähigkeit auszeichnet.

Über den normalen Schutz hinaus

Als weltweit größter Produzent von Strom aus Wasserkraft beliefert Hydro-Québec die kanadische Provinz Québec sowie Gebiete im Nordosten der USA mit elektrischer Energie. Die Energieverteilungssparte von Hydro-Québec ist verantwortlich für die

Sicherung der Zuverlässigkeit des Verteilnetzes und die unterbrechungsfreie Versorgung der Kunden mit Strom.

Zur Verstärkung seines Abzweigungsschutzsystems holte Hydro-Québec im April 2005 Angebote für den Bau eines Schutzrelais ein, das Haupt- und Reserveschutzsysteme in einem einzigen Gehäuse vereint und mit dem die bestehende Ausrüstung nachgerüstet werden sollte. Zu den konstruktiven Schwerpunkten gehörten erweiterte Schutz- und Steuerungsfunktionen, eine hohe Systemzuverlässigkeit und ein geringerer Wartungsaufwand. Das neue Relais sollte außerdem einen automatischen Übergang von Hauptschutz zu redundantem Schutz und einen ausfallsicheren Mechanismus für den Geräteschutz in kritischen Fehlersituationen bieten.

Im Juli 2005 erhielt ABB den Auftrag zum Bau des neuen Schutzrelais.

In einer Reihe von Besprechungen zwischen ABB und Hydro-Québec wurde der Grundstein für einen wertvollen kollaborativen Prozess gelegt, der schließlich zur Entwicklung eines auf die besonderen Bedürfnisse von Hydro-Québec zugeschnittenen Schutzrelais führte.

Als Produktname wählte Hydro-Québec CEPA – „Control Et Protection des Artères“ (franz. für Steuerung und Schutz von Verteilnetzabzweigen).

Das Schutzrelais

CEPA ist ein fortschrittliches, mikroprozessorbasiertes Abzweigungsschutz-

system, das mit den neuesten Schutz-, Steuerungs- und Automatisierungsfunktionen ausgestattet ist. Dank seiner redundanten Schutzfunktion ist es die ideale Lösung für die zuverlässige Steuerung und den Schutz von Verteilnetzanwendungen.

CEPA bietet ein komplettes Paket an Schutzfunktionen, von denen einige in der **Infobox 1** aufgeführt sind. Damit ist das Relais für den Einsatz in den meisten Verteilnetzanwendungen geeignet.

Sämtliche Schutzsysteme verfügen über parallele Fehlererkennung und sind eigenständig im Hinblick auf Stromversorgung, Messung und Verarbeitung von analogen Signalen, A/D-Wandler und binäre Ein- und Ausgänge gemäß den Vorgaben und Beschreibungen der standardisierten technischen Spezifikationen von Hydro-Québec.

Die Benutzerschnittstelle des CEPA umfasst Signallampen, Drucktasten, eine Bedienschnittstelle (OCI) mit zwei Displays und Tastenfeldern an der Vorderseite, zwei vorderseitige EIA232-Ports zum Anschluss an einen lokalen PC, einen rückseitigen EIA232-Port und einen Ethernet-Port für die Kommunikation über ein Netzwerk **Infobox 2**.

Benutzerschnittstelle

Über die Bedienschnittstelle und ein externes PC-basiertes Programm (WinECP) kann auf Relaiseinstellungen, Zählerwerte, Ereignisse und die Steuerung zugegriffen werden.

Bedienschnittstelle (OCI)

Die OCI ist temperaturkompensiert und lässt sich über den gesamten Betriebstemperaturbereich (–40 bis +85 °C korrekt ablesen. Auf der OCI werden ständig die Strom- und Spannungshöhen sowie die Anzahl der erlaubten schnellen Abschaltungen, die Zahl der Wiedereinschaltungen und die Gesamtzahl der erlaubten Wiedereinschaltungen angezeigt.

Windows External Communications Program (WinECP)

WinECP bietet Benutzern eine einfache Möglichkeit, mit dem Relais zu kommunizieren.

CEPA-Relais



Infobox 1 CEPA-Schutzfunktionen

Zu den Schutzfunktionen des CEPA-Relais gehören:

- Überstromzeitschutz mit und ohne Zeitverzögerung für Phase und Erde
- Wiedereinschalten mit mehreren Versuchen
- Leistungsschalter-Ausfallschutz

Infobox 2 Merkmale des CEPA auf einen Blick

Hauptmerkmale:

- Fortschrittliche 32-Bit-Mikroprozessortechnologie mit digitalem Signalprozessor (DSP)
- Verbesserte Bedienschnittstelle (OCI) mit zwei LCD-Displays für Haupt- und Reserveschutz
- Isolierte Kommunikationsanschlüsse für die Fernkommunikation
- Gleichzeitiger lokaler und dezentraler Zugriff über Kommunikationsanschlüsse auf der Vorder- und Rückseite
- Verschiedene Kommunikationsprotokolle:
 - DNP 3.0 Level 2+ (Standard)
 - Modbus, Modbus TCP/IP
 - IRI-G-B-Zeitsynchronisation mit batteriegestützter Uhr

Standardmerkmale:

- Digitaler Störschreiber (DFR)
- Kompletter multifunktionaler Schutz
 - Überstrom Phase/Erde
 - Über-/Unterspannung
 - Leistungsschalerausfall
- Komplette Messung und Steuerung
- WinECP-Benutzeroberflächensoftware

Über die benutzerfreundliche, menügesteuerte Anwendung können folgende Funktionen ausgeführt werden:

- Anzeigen und Ändern von Einstellungen
- Speichern von Einstellungen
- Anzeigen verschiedener im CEPA-Relais gespeicherter Protokolle (zusammenfassender Fehlerbericht und Abfolge von Ereignissen)
- Überwachung von Zählerwerten, physikalischen E/A- und Statuspunkten
- Speicherung von digitalen Fehlerprotokoll- und Zeitsequenzdaten
- Steuerung der Leistungsschalter und E/A-Signale

WinECP kann auch offline verwendet werden, um die Möglichkeiten und Funktionalitäten des Relais zu erkunden. Im Offline-Betrieb werden die werkseitig vorgegebenen Standardeinstellungen und -konfigurationen angezeigt. Die Relaiseinstellungen können bearbeitet, in einer Datei gespeichert und später auf ein CEPA-Relais heruntergeladen werden.

Digitaler Störschreiber

Das CEPA-Relais enthält einen digitalen Störschreiber für die Analyse von Fehlern und Störungen. Die Einstellungen für auslösende Quellen und wählbare Zyklen für die Aufzeichnung von Daten vor der Auslösung werden im Gerät gespeichert. Die erfassten Daten werden in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert und können auf einen PC heruntergeladen werden. Die Protokolle können dann zur Post-Mortem-Analyse und Systemplanung mit einem

gesonderten Programm angezeigt werden.

Zusammenarbeit mit dem Kunden

Bei der Entwicklung des CEPA-Relais musste sichergestellt werden, dass sämtliche Anforderungen von Hydro-Québec erfüllt werden. Einige davon konnten mit Standardschutzfunktionen erfüllt werden, für andere hingegen – zum Beispiel in puncto Umweltverträglichkeit und Leistungsfähigkeit – waren kundenspezifische Anpassungen erforderlich. ABB und Hydro-Québec standen in allen Phasen der Spezifikation, Produktentwicklung, Komponentenauswahl, Systemverifikation und Produktion in ständigem Dialog miteinander.

Während die Mindestanforderungen für die Leistungsfähigkeit des Systems durch elektrische Sicherheitsstandards vorgegeben wurden, gingen die Erwartungen von Hydro-Québec an die Funktionalität über die allgemeinen Standardempfehlungen hinaus. Um die Erfüllung dieser Anforderungen sicherzustellen, wurde das ABB-Produkt für Bedingungen und Belastungen ausgelegt und getestet, die weit über die typischen Anforderungen von EVU-Anwendungen hinausgehen. Die dabei gewonnenen Kenntnisse wird ABB zur Verbesserung ihrer Standardprodukte einsetzen und Hydro-Québec weiterhin beim Engineering bestehender und zukünftiger Geräte und Schutzeinrichtungen zur Seite stehen.

Mohamed Y. Haj-Maharsi
ABB Inc USA, Corporate Research
Raleigh, NC, USA
mohamed.maharsi@us.abb.com

Deia Bayoumi
ABB Inc USA, Medium Voltage Products
Allentown, PA, USA
deia.bayoumi@us.abb.com

Thomas G. Sosinski
ABB Inc USA, Medium Voltage Products
Allentown, PA, USA
thomas.g.sosinski@us.abb.com

Doug Voda
ABB Inc USA, Medium Voltage Products
Lake Mary, FL, USA
doug.voda@us.abb.com

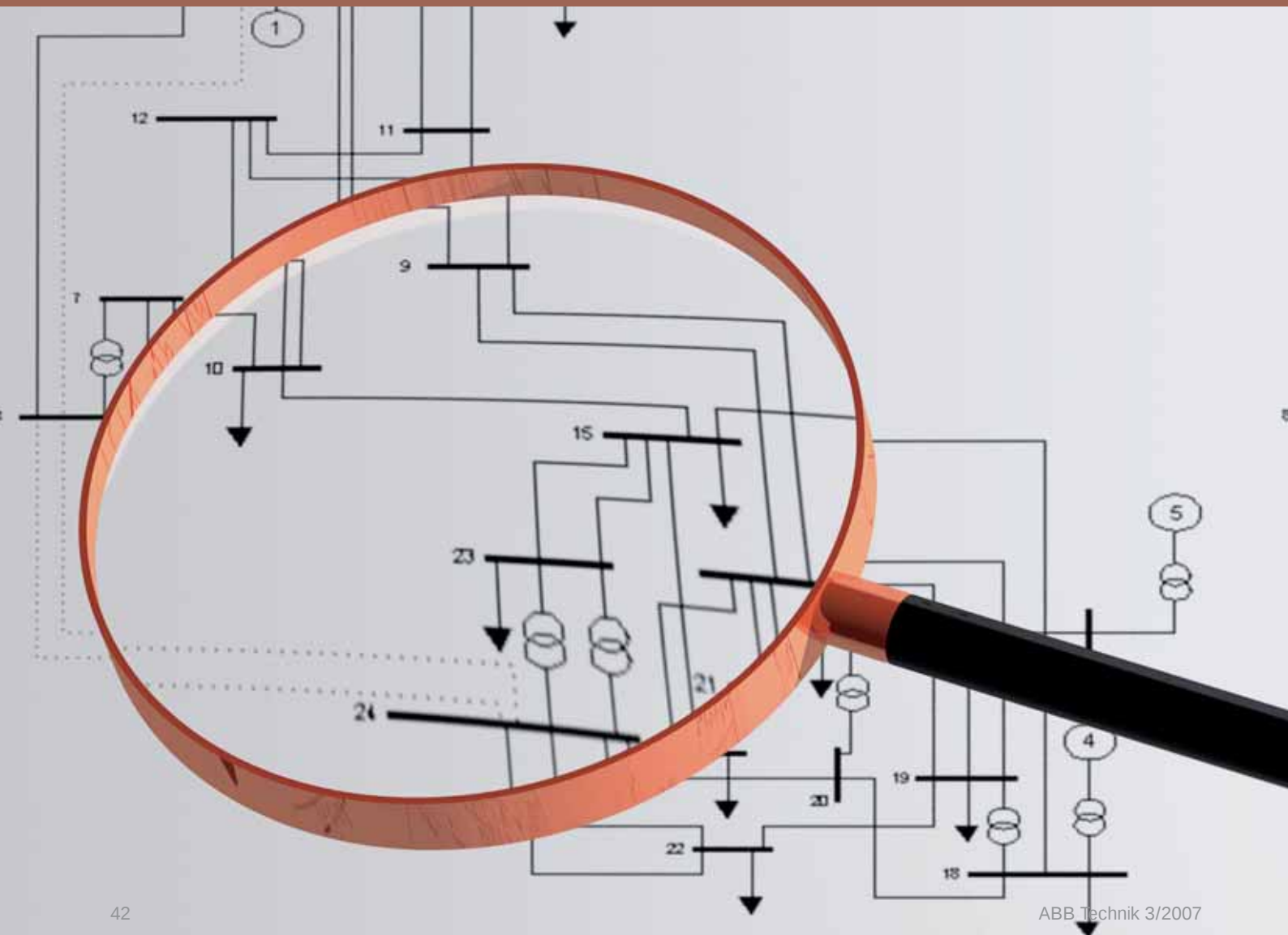


Gefahr erkannt!

ABB präsentiert ein innovatives System zur Erkennung von Hochimpedanzfehlern

Ratan Das, Deia Bayoumi, Mohamed Y. Haj-Maharsi

Hochimpedanzfehler sind praktisch unsichtbar für herkömmliche Fehlererkennungsmethoden. Da sie eine Gefahr für die ahnungslose Öffentlichkeit darstellen, ist ihre Erkennung für viele Schutzingenieure eine besondere Herausforderung. Doch dank eines innovativen Erkennungssystems von ABB sind die Zeiten, in denen Hochimpedanzfehler nicht eindeutig erkannt werden konnten, endgültig vorüber. Mithilfe verschiedener Algorithmen ist *HIF Detect™* in der Lage, herabgefallene Leitungen auf dem Erdboden, Schotter, Beton, Sand und anderen Oberflächen zuverlässig zu erkennen. Dadurch wird nicht nur die Sicherheit des elektrischen Netzes erhöht, sondern auch die Zuverlässigkeit des Systems durch besseres Ausfallmanagement gesteigert.



Die meisten Fehler in Stromnetzen führen zu einem deutlichen Anstieg des Stromflusses in Richtung der Fehlerstelle. Herkömmliche Überschutzschieinrichtungen sind normalerweise in der Lage, solche „Niedrigimpedanzfehler“ zu erkennen und das System dagegen zu schützen. Hochimpedanzfehler (High Impedance Faults, HIFs) hingegen verursachen keinen ausreichenden Fehlerstrom, um herkömmliche Überschutzrelais oder Sicherungen auszulösen [1]. Ein Hochimpedanz-Erdschluss tritt auf, wenn ein Primärleiter ungewollt mit einem nichtleitenden Fremdkörper wie Ästen, einer Straße oder einem Bürgersteig in Kontakt kommt. Allgemein sind solche HIFs für die Netzkomponenten nicht gefährlich. Für die Öffentlichkeit hingegen stellt ein auf dem Boden liegender spannungsführender Leiter eine bedeutende Gefahrenquelle dar. Da nichtleitende Objekte einen hohen elektrischen Widerstand besitzen, fließen nur geringe Ströme durch sie hindurch, weshalb sie von herkömmlichen Schutzeinrichtungen nicht als Problem erkannt werden.

Zwei typische Eigenschaften von HIFs sind die niedrigen Fehlerströme und die Bildung von Lichtbögen. Typische HIF-Ströme in einem Verteilnetz reichen von 0 A beim Kontakt mit Asphalt und trockenem Sand bis zu 50 A bei nassem Gras bzw. 75 A bei Stahlbeton [1]. Durch den schlechten Kontakt zur Erde bzw. geerdeten Objekten kann es an Luftstrecken zur Bildung von Lichtbögen kommen, die wiederum



Brände verursachen können. Solche Luftstrecken können auch im Boden oder in geerdeten Objekten (Beton, Bäume usw.) vorliegen, an denen über kurze Entfernungen hohe Spannungen entstehen. Bricht eine solche Luftstrecke zusammen, kommt es zum Lichtbogen. Der Stromfluss im Lichtbogen ist ebenfalls nicht dauerhaft genug, um durch herkömmliche Methoden zuverlässig erkannt zu werden [2].

Im Rahmen des *Engineered for Safety*™ Programms hat ABB eine Lösung zur Erkennung von HIFs entwickelt, die nun als integraler Bestandteil verschiedener Schutzgeräte verfügbar ist [2]. Das wirtschaftliche und zuverlässige System mit dem Namen *HIF Detect*™ ist das Ergebnis jahrlanger Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Die Lösung hat das Interesse von

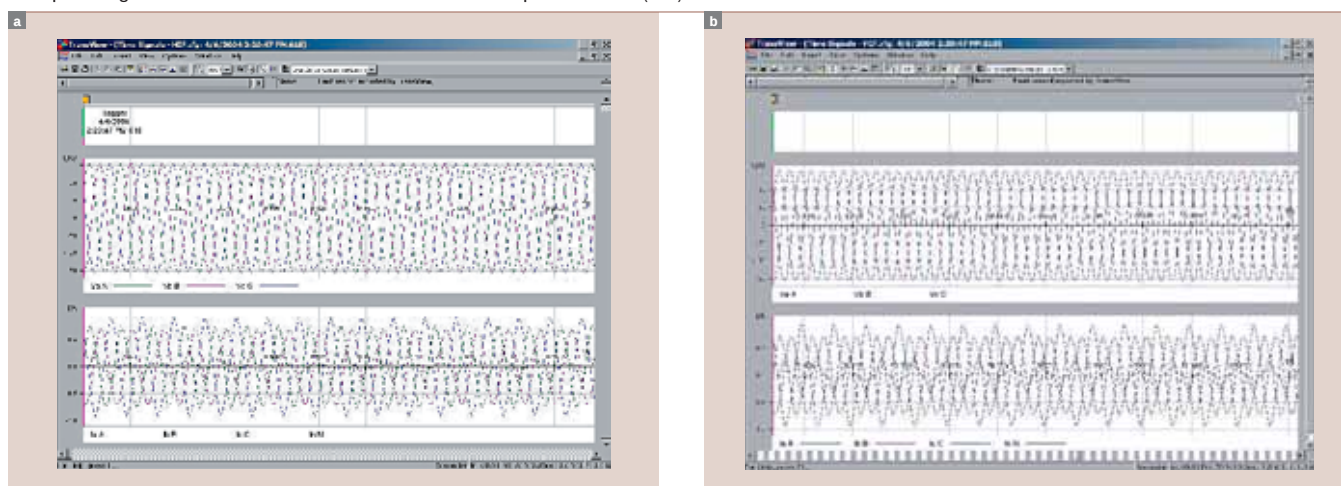
EVUs in aller Welt geweckt, und einige von ihnen haben sich bereit erklärt, das System in Zusammenarbeit mit ABB in einem in Betrieb befindlichen Netz zu testen.

Für die EVUs waren die Feldversuche eine willkommene Gelegenheit, an der Erprobung einer neuen, innovativen Technologie teilzuhaben.

Das *HIF Detect*™ System im Überblick [3] zeigt eine schematische Darstellung eines mit dem ABB *HIF Detect*™ System ausgerüsteten elektrischen Netzes.

HIF Detect™ basiert auf patentierten fortschrittlichen Signalverarbeitungs-

1 Spannungs- und Stromwellen ohne a und mit Hochimpedanzfehler (HIF) b



Energietechnik

verfahren und verwendet mehrere Algorithmen gleichzeitig zur Erkennung von HIFs, wobei jeder Algorithmus auf bestimmte Merkmale von Erdströmen abzielt. Mit anderen Worten, die Signaturen von Erdströmen können nichtstationär, zeitlich flüchtig und von unterschiedlicher Störimpulsdauer sein.

Wie in 4 dargestellt, werden Signale vom Netz erfasst, gefiltert und dann mithilfe einzelner HIF-Erkennungsalgorithmen verarbeitet. Die einzelnen Ausgaben der Algorithmen werden von einer Entscheidungslogik¹⁾ weiterverarbeitet, die entscheidet, ob ein HIF vorliegt oder nicht.

Sämtliche harmonische und nichtharmonische Komponenten innerhalb des verfügbaren Filterdatenfensters können eine wichtige Rolle bei der HIF-Erkennung spielen. Eine der Hauptherausforderungen liegt in der Entwicklung eines Datenmodells, das die Tatsache berücksichtigt, dass HIFs jederzeit beliebig verzögert und stark gedämpft innerhalb des Signalbeobachtungsfensters auftreten können. Die Grundlage für ein solches Modell bilden umfangreiche Forschungsarbeiten, tatsächliche experimentelle Beobachtungen im Labor, Feldversuche und eine präzise Darstellung eines nichtstationären Signals mit einem zeitabhängigen Spektrum.

Neben einer Gefährdung der Öffentlichkeit können HIFs zu Unterbrechungen der Stromversorgung führen, die die Zuverlässigkeit, Stabilität und Kontinuität des Netzes beeinträchtigen.

Probieren geht über Studieren

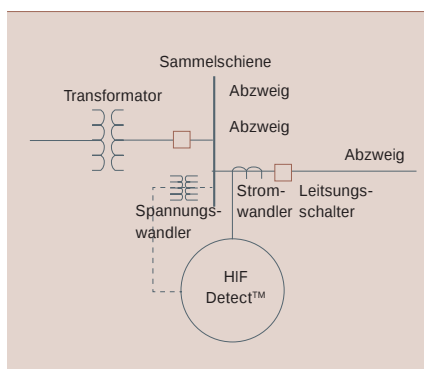
Zwischen 1998 und 2000 wurde das ABB *HIF Detect*TM System umfangreichen Labortests unterzogen. Dabei wurde eine Erkennungsrate von rund 80 % für korrekte Erkennungen erzielt, während die Rate von falschen Erkennungen nahe 0 % lag. Nach Abschluss dieser Tests wurde die Technologie in eine eingebettete Plattform implementiert, um die HIF-Erkennung später in intelligente elektronische Geräte (Intelligent Electronic Devices, IEDs) zur Steuerung und zum Schutz von Netzabzweigen integrieren zu können. Im Jahr 2002 wurden weitere HIF-Felddaten von einem unabhängigen Forschungslabor übernommen, das eigene Tests an einem Verteilnetz durchgeführt hatte, und das *HIF Detect*TM System entsprechend modifiziert und angepasst.

Neben den mit *HIF Detect*TM ausgerüsteten IEDs wurde ein eigenständiges

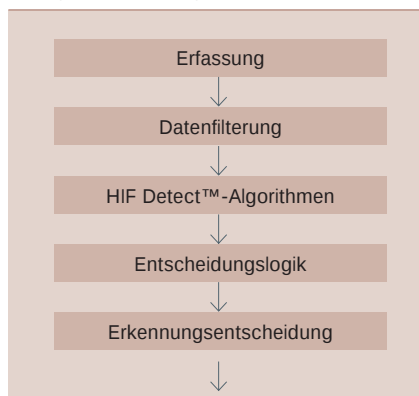
2 Abzweigschutzrelais REF550 von ABB



3 Schematische Darstellung von *HIF Detect*TM in einem elektrischen Netz



4 Signalverarbeitung in *HIF Detect*TM



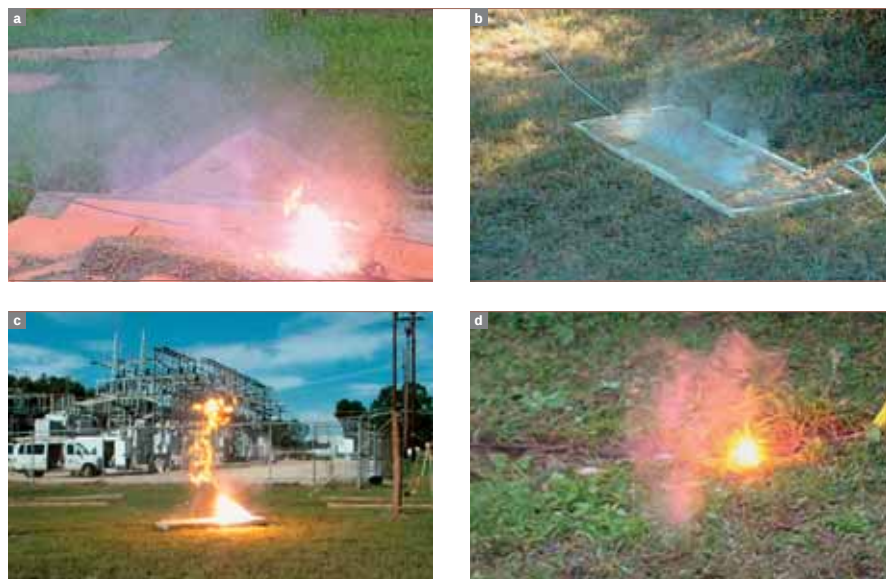
5 IEDs mit *HIF Detect*TM und Datenerfassungssystem



Fußnote

¹⁾ Die Entscheidungslogik kann entsprechend den Anforderungen der Anwendung verändert werden.

6 Prüfung von HIF Detect™ auf Schotter **a**, Sand **b**, Beton **c** und Gras **d**



Datenerfassungssystem (Data Acquisition System, DAS) für HIF-Feldversuche entwickelt ⁵. Dieses ist unabhängig von den HIF-Detektionseinheiten²⁾ und basiert auf der LabVIEW-Software von National Instruments. Die Montage und die Entwicklung der Systemsoftware wurden von ABB durchgeführt.

Die ABB HIF-Erkennungslösung ist mittlerweile integraler Bestandteil verschiedener Schutzgeräte.

Die IEDs wurden in Feldversuchen in Zusammenarbeit mit EVUs in Nordamerika, Lateinamerika und dem Mittleren Osten getestet. Zudem wurden Daten von speziell entwickelten HIF-Tests gesammelt. Die Tests wurden an aktiven Abzweigen durchgeführt, ohne dass es zu Störungen beim betreffenden EVU oder seinen Kunden kam. Die Versuche mit verschiedenen Oberflächen sind in **6** dargestellt.

HIF Detect™ war in der Lage, HIFs auf Schotter, Sand, Beton und Gras erfolgreich zu erkennen und erwies sich als sehr sicher bei der Konfrontation mit verschiedenen Lastbedingungen, wie sie in HIF-Situationen auftreten. Aus Sicht der EVUs stellten die Feldversuche eine willkommene Gelegenheit dar, an der Erprobung einer neuen, innovativen Technologie teilzuhaben,

die das Potenzial dazu hat, sich als zuverlässigste HIF-Erkennungsmethode zu etablieren.

ABB hat *HIF Detect™* mittlerweile als Standardmerkmal in eines ihrer Schutzgeräte, dem Abzweigschutzrelais REF550³⁾ implementiert. Eines der besonderen Merkmale der ABB-Lösung ist ihr benutzerfreundliches Design mit nur zwei Einstellungen. Die erste ist der Grad der Sicherheit im HIF-Erkennungssystem (der sog. HIF Level), der intuitiv in 1-er Schritten zwischen 1 (geringste Sicherheit) und 10 (höchste Sicherheit) eingestellt werden kann (Standardeinstellung ist 5). Die zweite Einstellung betrifft das Erdungssystem, bei dem der Benutzer zwischen einem geerdeten und nicht geerdeten System wählen oder die Funktion deaktivieren kann.

Derzeit finden weitere Feldversuche der kommerziellen Version statt.

Für die Sicherheit

Die Sicherheit der Öffentlichkeit hat für EVUs stets oberste Priorität. Doch neben einer Gefährdung der Öffentlichkeit können HIFs zu Unterbrechungen der Stromversorgung führen, wodurch wiederum die Zuverlässigkeit, Stabilität und Kontinuität des Netzes beeinträchtigt wird. Zudem geht durch Fehlerlichtbögen Energie verloren, und es können Schäden verursacht werden. Aufgrund der schweren Fassbarkeit von HIFs benötigen EVUs eine wirtschaftliche Lösung, die nicht nur in der Lage ist, diese Fehler zuverlässig zu erkennen, sondern auch eine falsche Erkennung zu verhindern. Nicht zuletzt hilft eine zuverlässige Erkennung, Brände zu verhindern und Sachschäden zu minimieren.

Die Erkennung von Hochimpedanzfehlern erfordert einen anderen Ansatz als die Erkennung herkömmlicher Niedrigimpedanzfehler. Mit dem *HIF Detect™* System hat ABB eine innovative Technologie entwickelt, die sich mit hervorragendem Ergebnis in vielen Feldversuchen bewährt hat.

Ratan Das
Deia Bayoumi
ABB Inc., USA
Allentown, PA, USA
ratan.das@us.abb.com
deia.bayoumi@us.abb.com

Mohamed Y. Haj-Maharsi
ABB Inc., USA, Corporate Research
Raleigh, NC, USA
mohamed.maharsi@us.abb.com

Fußnoten

²⁾ Die HIF-Detektionseinheiten werden kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert.

³⁾ Das REF550 ist seit Januar 2005 auf dem Markt. Weitere Informationen zu diesem Produkt in englischer Sprache finden Sie unter www.abb.com (Stand: Mai 2007)

Literaturhinweise

- [1] Stoupis, James; Maharsi, Mohamed; Nuqui, Reynaldo; Kunsman, Steven A.; Das, Ratan: „Touchdown! – Zuverlässige Erkennung von Hochimpedanzfehlern infolge herabgefallener Stromleitungen“, ABB Technik 1/2004, S. 28–31
- [2] Russell, B. D.; Benner, C. L.: „Arcing Fault Detection for Distribution Feeders: Security Assessment in Long Term Field Trials“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, Nr. 2, April 1995, S. 676–683.



Schnell und sicher

Das ABB Fast Protective Device System zum Schutz von Reihenkondensatoren ist eine Klasse für sich.

Rolf Grünbaum, Joacim Redlund, Louis P. Rollin

Viele Überspannungsschutzsysteme für Reihenkondensatoren sind nicht nur mit Einschränkungen hinsichtlich ihrer Größe und Leistungsfähigkeit verbunden, sondern werden auch leicht durch Umwelteinflüsse beeinträchtigt. Neben der Forderung nach mehr Kompaktheit und Robustheit besteht bekanntermaßen auch Bedarf an einem neuen, allgemeinen Schutzsystem, das sich durch eine höhere Leistungsfähigkeit, niedrigere Kosten und größere Flexibilität auszeichnet und das Reihenkondensator-konzept optimiert.

Dank modernster Technologie und jüngster Entwicklungen ist es ABB gelungen, ein solches System mit dem Namen Fast Protection Device (FPD) zu entwickeln, das in Kombination mit einem primären Metalloxid-Varistor zum Schutz von Reihenkondensatoren in Hoch- und Höchstspannungsanwendungen eingesetzt werden kann. Das System wurde bereits im Labor und in einer Pilotinstallation im 315-kV-Netz von Hydro-Québec in Kanada getestet.

Die Blindleistungskompensation mit Hilfe von Reihenkondensatoren ist eine wirksame Methode, um den Leistungstransport in Hochspannungsnetzen mit langen Übertragungsleitungen zu verbessern [1]. Reihenkondensatoren bestehen im Wesentlichen aus Kondensatorbatterien, die mit den Übertragungsleitungen in Reihe geschaltet sind und somit den induktiven Scheinwiderstand der Leitungen reduzieren. Außerdem tragen sie zur Steigerung der Energieübertragung und der dynamischen Stabilität des Netzes bei. Durch die Art der Schaltung müssen die Reihenkondensatoren eine vollständige Isolierung gegen das Erdpotenzial bieten. Dies wird erreicht, indem die Hauptelemente der Schaltung auf einphasigen Plattformen angeordnet werden, die dann gegen die Netzspannungsebene isoliert werden. Doch leider sind die Betriebsmittel in dieser Lage verstärkt Umwelteinflüssen wie Schnee, Eis und Verschmutzung ausgesetzt.

Neben der vollständigen Isolierung gegen das Erdpotenzial muss die Kondensatorbatterie auch sämtlichen Netzströmen standhalten können, was allerdings aus praktischen und wirtschaftlichen Gründen nicht immer möglich ist. Die Lösung besteht darin, schädliche Ströme per Bypass-Schalter an den Kondensatoren vorbeizuleiten. Die dazu notwendige Ausrüstung muss äußerst widerstandsfähig sein und die erforderliche Dynamik besitzen, um eine schnelle Bereitstellung der Kondensatoren nach der Klärung eines Netzfehlers zu gewährleisten. Steuerungs- und Schutzeinrichtungen sind normalerweise

weise auf Erdpotenzial angeordnet, sodass eine Signalkommunikation zwischen Erdpotenzial und Netzspannungsebene erforderlich ist. Diese Anforderungen werden vom ABB Fast Protective Device (FPD) System erfüllt.

Das FPD-System

Viele EVUs verwenden ein Schutzkonzept auf der Basis von *Metalloxid-Varistoren (MOV)*, das ca. 1980 eingeführt wurde. Dies funktioniert zwar grundsätzlich hervorragend, doch die für viele praktische Anwendungen erforderliche Zahl der MOV-Elemente macht es recht kostspielig. Treten hohe Fehlerströme auf, muss der MOV während des Fehlerzyklus große Mengen an Energie aufnehmen. Um die Zahl der erforderlichen MOV-Elemente zu reduzieren, kann das System mit einer *getriggerten Funkenstrecke* kombiniert werden. Doch leider wird die Leistungsfähigkeit und die Zuverlässigkeit der Funkenstrecke und somit des gesamten Systems durch Umwelteinflüsse beeinträchtigt. Hinzu kommt, dass ein kombiniertes Schutzsystem aus MOV und getriggelter Funkenstrecke viel Platz auf der Plattform beansprucht.

Das FPD-System stellt einen neuen Ansatz zum Schutz von Hochspannungseinrichtungen dar. Es wurde speziell für den Einsatz an Reihenkondensatoren konzipiert, kann aber auch zum Schutz anderer Betriebsmittel im Hochspannungsbereich eingesetzt werden. Das Prinzipschaltbild eines FPD-Systems ist in 1 dargestellt, 2 zeigt eine schematische Darstellung. Das System beinhaltet zwei neu entwickelte Kom-

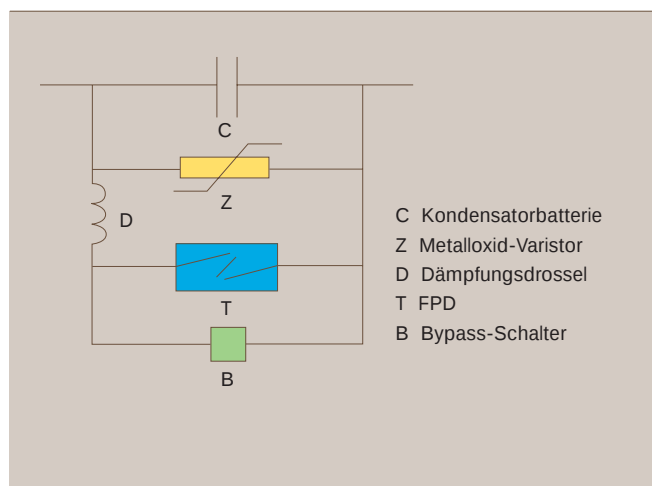
ponenten: den hermetisch verschlossenen und extrem schnellen Hochleistungsschalter *CapThor*, der herkömmliche Funkenstrecken ersetzt, und die *Operation and Supervision Unit (OSU)* zur Steuerung, Überwachung und Versorgung des Systems.

Das FPD-System arbeitet mit einem MOV, der auf kontrollierte Weise überbrückt werden kann, um die Energieaufnahme zu reduzieren. CapThor kann während eines Fehlerzyklus mehrfach betätigt werden, sodass der Reihenkondensator ohne Probleme überbrückt und wieder eingeschaltet werden kann.

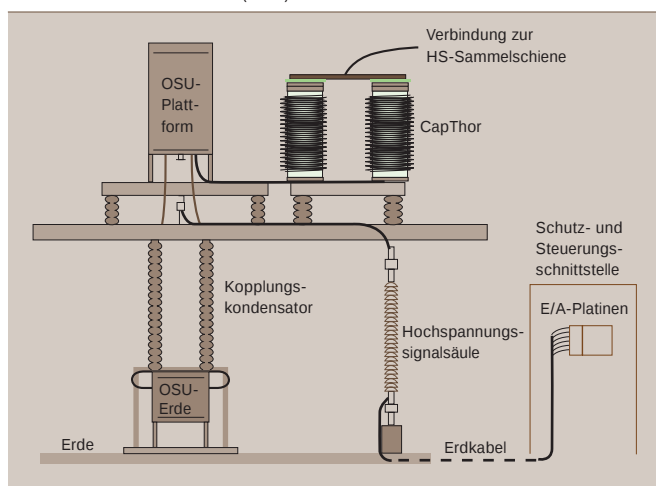
Die OSU besteht aus einer Stromversorgungseinheit auf Erdpotenzial, einer Übertragungsverbindung zum Plattformpotenzial, einem Schaltschrank auf der Plattform mit Energiespeicherkondensatoren und aus Steuerungseinrichtungen zur Aktivierung und Überwachung des Schalters.

Weitere Elemente des FPD-Systems sind eine Dämpfungsdrossel, die den Kondensator-Entladestrom begrenzt, und ein schneller Bypass-Schalter zum allgemeinen Schalten und Überbrücken des Reihenkondensators. Wie allgemein üblich werden die FPD-Steuersignale über eine optische Hochspannungsverbindung übertragen. Eine Nachrüstung der meisten bestehenden Reihenkondensatoranlagen mit dem FPD-System ist (unter Verwendung von Standardkomponenten) möglich. Außerdem ist die Ausrüstung kompakt, was den Transport und die Installation vereinfacht. Das System wird vor der Auslieferung getestet, und mit Ausnahme der

1 Prinzipschaltbild des Fast Protective Device (FPD) Systems



2 Schematische Darstellung einer Phase des Fast Protective Device (FPD)



Energietechnik

Druckbefüllung bei der Installation sind keine Einstellungen oder Instandhaltungsarbeiten vor Ort erforderlich. Zu den weiteren Vorteilen des ABB FPD-Systems gegenüber anderen Systemen mit Funkenstrecken gehören:

- Eine Überbrückung der Kondensatoren bei niedrigen Spannungen ist möglich.
- Keine Beeinträchtigung durch Umwelteinflüsse
- Hohe Flexibilität im Hinblick auf zukünftige Modernisierungen der Reihen Kondensatoren
- Das System ist selbstüberwachend.

CapThor

Das CapThor-System ³ besteht aus einem sehr schnellen Hochleistungs-Plasmaschalter in Parallelschaltung mit einem schnellen mechanischen Schalter. Die beiden Schalter sind in zwei Hochdruck-Isolatorkammern aus Verbundmaterial untergebracht, die mit Gas unter erhöhtem Druck gefüllt und nebeneinander auf der Plattform angeordnet sind.

Plasmaschalter

Der Plasmaschalter besteht aus einer Hochleistungs-Elektrodenanordnung, in die ein leitender Lichtbogen bzw. Plasma eingebracht werden kann, um die Isolierstrecke zwischen den Hauptelektroden zu überbrücken. Im Gegensatz zu getriggerten Funkenstrecken ist die Funktion des Plasmaschalters im Wesentlichen unabhängig von der Spannung zwischen den Elektroden. Die Zeit, bis der Plasmaschalter nach Erhalt eines externen „Schließen“-Signals vollständig leitend ist, liegt im Bereich

von 0,3–1 ms. Der Lichtbogen wird über eine Auslöseeinheit mit sehr niedriger Zündspannung erzeugt und von einer externen Energiequelle in Form eines mit 2,4 kV geladenen 820-µF-Kondensators gespeist. Der Lichtbogenstrom hat eine Anstiegsrate von ca. 100 A/µs und eine Amplitude von 10 kA bei einer Dauer von 1 ms. Er wird mithilfe von Magnetkräften in den Spalt zwischen den Hauptelektroden gelenkt, die wiederum von dem Stromkreis der Auslöseeinheit erzeugt werden. Diese Methode zum Zünden des Lichtbogens wird bereits seit 10 Jahren in Reihen Kondensatoranwendungen im Mittelspannungsbereich verwendet. Der Plasmaschalter hat ein sehr hohes Einschaltvermögen und besitzt keinerlei bewegliche Teile.

Schneller mechanischer Schalter

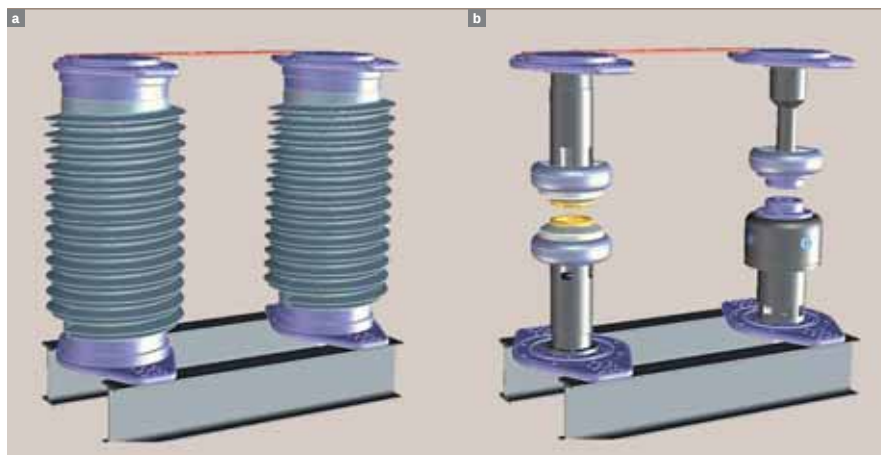
Der mechanische Schalter besteht aus einem Kontakt, der sehr schnell geöffnet und geschlossen werden kann. Die Betätigung erfolgt mithilfe der Abstoßungskräfte eines magnetischen Spiegels (Effekt nach Thompson). Wie beim Lichtbogen dienen auch hier Kondensatoren als externe Energiequelle, allerdings mit 4.785 µF und 1,2 kV. Das grundlegende Schaltprinzip ist das gleiche wie bei den Hochgeschwindigkeits-Einschaltern¹⁾, die in Innenraum-Mittelspannungsschaltanlagen zum Parallelschalten von Erdschlussströmen verwendet werden, um Beschädigungen und eine Gefährdung des Personals zu verhindern. Der mechanische Schalter hat ein sehr hohes Einschaltvermögen bei niedrigen Spannungen entsprechend dem Spannungsabfall im

Lichtbogen des Plasmaschalters und in den Impedanzen des lokalen Stromkreises. Die Ein- und Ausschaltdauer liegen jeweils bei unter 5 ms. Der Schalter hat nur ein geringes Ausschaltvermögen und kann in FPD-Reihen Kondensatoranwendungen nur geöffnet werden, wenn der Hochspannungs-Bypass-Schalter geschlossen ist.

Operation and Supervision Unit

Die OSU umfasst ein Steuermodul auf Erdpotenzial, eine Hochspannungs-Übertragungsverbindung und ein Steuermodul auf Netzpotenzial auf der Plattform. Im geerdeten Modul wird eine von einer unterbrechungsfreien Stromversorgung bereitgestellte Gleichspannung über einen Oszillator in eine hochfrequente Wechselspannung umgewandelt. Der Oszillator ist mit zwei Hochspannungs-Kopplungskondensatoren verbunden, die den Potenzialunterschied zwischen der Erde und der Plattform überbrücken. Die Kondensatoren sind dieselben, die auch für kapazitive Spannungswandler und bei der Trägerfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen (TFH) eingesetzt werden. Die Kapazität der Übertragungsverbindungen wird so an die beiden Kompensationsdrosseln angepasst, dass die Impedanz im Stromkreis für die betreffende Frequenz gleich null ist. Im Steuermodul auf der Plattform wird die Wechselspannung in Gleichspannungen von 1,2 kV und 2,4 kV umgewandelt, mit denen die Energiespeicherkondensatoren für den Plasmaschalter und den mechanischen Schalter des CapThor kontinuierlich geladen werden. Die Zahl der Energiespeicherkonden-

³ Außen- **a** und Innenansicht **b** des CapThor mit Plasmaschalter (links) und mechanischem Schalter (rechts)



Infobox Die Anlage in Kamouraska

Die Anlage in Kamouraska besteht aus vier Reihen Kondensatoren zu je 192 MVAR und unterstützt die Energieübertragung über vier parallele 315-kV-Leitungen. Die Reihen Kondensatoren reduzieren den Blindwiderstand der Leitungen um 60% und erhöhen die dynamische Stabilität des Netzes. Der Übertragungskorridor spielt eine bedeutende Rolle für den Energieexport nach New Brunswick, Kanada. Die Kondensatoren wurden 1987 installiert und sind mit Schutzsystemen aus MOV und getriggerten Funkenstrecken ausgestattet.

satoren hängt von der benötigten Zahl aufeinanderfolgender CapThor-Schaltvorgänge ab.

Zusammenarbeit mit Kunden

Im Oktober 2003 wurde im Rahmen des Verifizierungsprozesses ein FPD-Demonstrationssystem an einer Reihenkondensatoranlage in Kamouraska

Infobox im kanadischen 315-kV-Netz von Hydro-Québec installiert ⁴. In den ersten acht Monaten übernahm das FPD-System keine Schutzfunktion, sondern wurde lediglich unter Spannung gesetzt und realen Umwelteinflüssen ausgesetzt, während verschiedene Systemfunktionen wiederholt von ABB und Hydro-Québec getestet und kontrolliert wurden. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde das ursprüngliche System mit Funkenstrecke durch das FPD ersetzt. Seitdem übernimmt eine Kombination aus dem FPD und dem ursprünglichen MOV den Schutz der Kondensatoren.

Zur Kommunikation mit dem OSU-Modul auf der Plattform wurde ein glasfaserbasiertes Kommunikationssystem zwischen der Plattform und der Leitwarte installiert²⁾. Die Leitwarte wurde mit einer Steuerungs- und Schutzschnittstelle (Control and Protection Interface, CPI) ausgestattet, die mit dem vorhandenen Schutzsystem, der vorhandenen Ereignisaufzeichnung

und dem OSU-Modul auf der Plattform gekoppelt ist. Bei einem Schutzereignis sendet das Schutzsystem eine Schließenweisung an die CPI. Diese übermittelt sie dann an das OSU-Modul auf der Plattform, von wo aus das CapThor-System gesteuert wird. Die Tests des FPD-Systems werden voraussichtlich im Laufe des Jahres 2007 abgeschlossen sein.

Potenzial des FPD-Systems

Die Entwicklung eines neuen Schutzsystems, das sich durch seine schnelle und kontrollierbare Performance auszeichnet, eröffnet den Ingenieuren neue Möglichkeiten für neue Schutzstrategien. So kann mithilfe des FPD zum Beispiel der Reihenkondensator bei Erkennung eines internen Netzfehlers sofort überbrückt werden, bevor das Schutzniveau des Kondensators erreicht ist. Dies senkt wiederum die Amplitude des Entladestroms, die Energieaufnahme des MOV und die allgemeine Belastung der Kondensatoren und anderer Betriebsmittel. Angesichts dieses bedeutenden Fortschritts können die Designkriterien für das Reihenkondensatorkonzept gelockert werden, was wiederum dabei hilft, Kosten zu reduzieren.

Eine weitere Strategie ergibt sich aus dem kurzen Aus- und Einschaltzyklus des FPD. Dank dieser Eigenschaft kann der Reihenkondensator bei allen Arten von Netzfehlern überbrückt und wieder eingeschaltet werden, ohne die Bedingungen im Netz zu beeinträchtigen. Mit anderen Worten, das FPD wird zum Hauptschutz, während der MOV als Reserveschutz fungiert, sodass die Designanforderungen für den MOV ebenfalls gelockert werden können. Die Grundlage für die dritte Strategie liefert die hohe Schließgeschwindigkeit des FPD und seine Fähigkeit zum Auslösen bei niedrigen Reihenkondensatorspannungen. Ein Reihenkondensator in einer Übertragungsleitung kann sich erhöhend auf die Amplitude der transienten Spannung auswirken, die durch das Öffnen eines Netzleistungsschalters bei der Abschaltung eines Fehlers verursacht wird. Diese Spannung, die sich auf das Ausschaltvermögen des Netzleistungsschalters auswirkt, wird als Einschwingspannung bezeichnet. Durch die hohe Schließgeschwindigkeit des FPD und seine Fähigkeit zum Auslösen bei niedrigen Spannungen kann der Reihenkondensator deutlich vor

dem Öffnen des Netzleistungsschalters überbrückt werden. Bei der hohen Geschwindigkeit des FPD sind die Bedingungen im Netz und die Einschwingspannung über dem Leistungsschalter ähnlich wie beim Schalten ohne Reihenkondensator.

Jeder ist ein Gewinner

Für Hydro-Québec bietet die Zusammenarbeit mit ABB im Rahmen eines Projekts zur Neuentwicklung eines Produkts die Gelegenheit, eine innovative Lösung außerhalb der normalen Lieferanten-Käufer-Beziehung zu evaluieren. Beide Partner profitieren vom Wissensaustausch im Rahmen des Projekts, indem der Entwickler ein besseres Bewusstsein für die Bedürfnisse des Nutzers entwickelt und der Nutzer sich mit der neuen Ausrüstung vertraut machen kann.

Angesichts des weltweit steigenden Energiebedarfs trägt das FPD-System von ABB dazu bei, die Energieübertragung in Stromnetzen auf schnelle und kostengünstige Weise zu erhöhen. Es wird erwartet, dass das System zunehmend Verwendung in Reihenkondensatoranlagen in aller Welt finden wird.

4 Detailansicht der FPD-Pilotinstallation mit der Stromversorgungsverbindung (vorne links), der optischen Übertragungsverbindung (rechts), dem CapThor und dem OSU-Schaltschrank auf der Plattform



Rolf Grünbaum
Joachim Redlund
ABB AB, FACTS
Västerås, Schweden
rolf.grunbaum@se.abb.com
joachim.redlund@se.abb.com

Louis P. Rollin
Hydro-Québec

Literaturhinweise

- [1] Grünbaum, R., Pinero, J. L.: „Series compensation goes the distance“, Modern Power Systems, Juni 2001

Fußnoten

- ¹⁾ Diese Schalter können nur schließen und müssen manuell geöffnet werden.
²⁾ Die Leitware ist ca. 240 m von der Plattform entfernt.



Technologie-partner

ABB und der französische Stromriese EDF arbeiten zusammen an der „Transformation“ des Übertragungsnetzes

Pawel Klys, Marcin Blaszczyk, Alain Zagouri,
Peter Rehnstrom, Egil Stryken

Hinter jedem erfolgreichen Produkt stehen Wissen, Innovation und Teamwork. Dies gilt auch für den ABB TPC-Transformator, einen Dreiphasen-Verteiltransformator mit integriertem Schutz, der als Antwort auf die Forderung von EDF (Electricité de France) nach zusätzlicher Funktionalität und Sicherheit sowie einer höheren Zuverlässigkeit des Verteilnetzes entwickelt wurde. Der Transformator ist hermetisch geschlossen und erfüllt die strengsten Umweltvorschriften. Außerdem ist er ein Beispiel dafür, wie eine wirksame Kooperation unerwarteten Nutzen für beide Seiten bringen kann.

EDF (Electricité de France) Infobox besitzt und betreibt eines der größten Verteilnetze Europas, in dem allein in Frankreich 700.000 ölgefüllte Transformatoren im Leistungsbereich zwischen 50 und 1.000 kVA installiert sind. Transformatoren gelten zwar als eine der zuverlässigsten Komponenten in einem Stromnetz, doch ohne entsprechenden Schutz sind auch sie gefährdet. Insbesondere die kleineren Masttransformatoren (normalerweise im Leistungsbereich zwischen 50 und 160 kVA) sind häufig nicht durch Sicherungen und Lasttrennschalter geschützt, was besonders bei starken Unwettern bedeutende Auswirkungen auf das übrige lokale Netz haben kann. Nachdem ein verheerender Sturm im Dezember 1999¹⁾ eindrucksvoll gezeigt hatte, wie verwundbar einige Teile des französischen Netzes sind, entschloss sich EDF, Teile des Mittelspannungs-Verteilnetzes unter die Erde zu verlegen. Einige der mittlerweile verlegten Leitungen sind mit kompakten, nicht begehbaren Unterstationen (Compact Secondary Substations, CSS) ausgestattet, die kleine Transformatoren (100 bis 250 kVA) enthalten. Diese Transformatoren sind mit Schaltgeräten geschützt,

was sich positiv auf die erforderlichen Gesamtinvestitionen auswirkt.

Bereits lange vor dem großen Sturm hatte EDF die Notwendigkeit zur Sicherung des Verteilnetzes erkannt und in den 1990er Jahren ein entsprechendes Programm ins Leben gerufen. Im Jahr 1996 begann EDF damit, die technischen Spezifikationen für eine Reihe von „selbstgeschützten“ Transformatoren mit Leistungen zwischen 50 to 250 kVA aufzustellen. Der sogenannte TPC-Transformator (Transformateur Protection Coupure) sollte ölfüllig sein und über einen Lasttrennschalter, Sicherungen sowie einen Thermoschutz und eine Ölstandssicherung verfügen. Zu den ersten Unternehmen, die diese Anforderungen erfüllten, gehörten Areva (vormals Alstom), Schneider, Transfix und Pauwels. Doch bereits 1993 war ABB als eines der ersten Unternehmen an der Entwicklung von selbstgeschützten Transformatoren beteiligt.

Von den 17.000 Transformatoren, die EDF im Jahr kauft, sind 75 % vom Typ TPC. Der Konzern ist davon überzeugt, dass „in naher Zukunft alle neuen ölfülligen Verteiltransformatoren vom Typ TPC sein werden, um eine bessere Zuverlässigkeit des Verteilnetzes zu gewährleisten“. Leider ist ein bedeutender Teil dieser ölfülligen Verteiltransformatoren mit PCB belastet, was EDF dazu veranlasst hat, ein Austauschprogramm ins Leben zu rufen, um das Netz gemäß französischer und europäischer Vorschriften bis zum Jahr 2010 zu „bereinigen“. Darüber hinaus sollen alle CSS-Kompaktstationen mit 400- und 630-kVA-Transformatoren einen TPC-Transformator erhalten. Diese speziell für den EDF-Markt ausgelegte CSS trägt die Bezeichnung PUIE.

Als weltweit etablierter und anerkannter Transformatorenhersteller wollte auch ABB ihr eigenes TPC-Konzept von EDF zertifizieren lassen. Dies ist mittlerweile passiert, und ABB ist fest in den Rahmenvertrag mit EDF integriert. Dies öffnet nicht nur einen der größten europäischen EVU-Märkte für ABB TPC-Transformatoren, sondern sichert dem Unternehmen auch eine starke Marketingposition auf anderen, von EDF beeinflussten Märkten. Im Folgenden soll das Konzept dieses Transformators näher beschrieben werden.

Das TPC-Transformator-Konzept

Der ABB TPC-Transformator (1 und 2) basiert auf den aktuellen Prinzipien und Standards für Stromwandler, bietet aber deutlich erweiterte Funktionen gegenüber herkömmlichen Verteiltransformatoren. Der Dreiphasen-Transformator ist vollständig mit Mineralöl gefüllt und hermetisch geschlossen²⁾. Im Falle von unvorhergesehenen Unfällen minimieren zusätzliche integrierte Schutzvorrichtungen die Gefahr für Mensch und Umwelt. Das Produkt erfüllt die technischen Anforderungen der EDF-Spezifikation³⁾ und entspricht der neuen IEC 60076-13 Norm⁴⁾ für „selbstgeschützte flüssigkeitsgefüllte Transformatoren“.

Die integrierte Schutzfunktion des TPC-Transformators wird durch Hochspannungs-Verdrahtungsfehler ausgelöst, die zu einer „dreiphasigen Trennung“ führen. Die allgemeine Aufgabe des internen Schutzes besteht darin,

- sämtliche internen Fehler ohne Wirkung nach außen abzuschalten,
- das vorgeschaltete Netz zu schützen,
- nachgelagerte Fehler ohne Wirkung nach außen abzuschalten,
- Fehler in den Niederspannungs-Durchführungen und -Sammelschie-

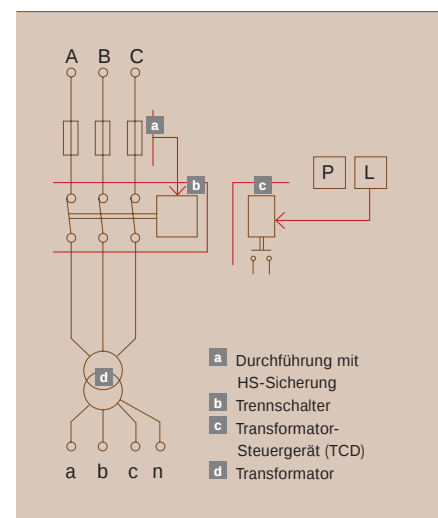
nen abzuschalten, die wiederum Sicherungen und Überdruckventile auslösen,

Infobox EDF (Electricité de France)

Die EDF-Gruppe ist ein integriertes Energieunternehmen, das in allen Bereichen der Elektrizitätswirtschaft tätig ist. EDF gehört zu den führenden Unternehmen auf dem französischen Strommarkt und ist auch in Großbritannien, Deutschland und Italien fest etabliert. Die Gruppe verfügt über die größte Erzeugungskapazität in Europa und versorgt mit ihren rund 156.000 Mitarbeitern* etwa 37 Millionen Kunden*. Weitere Informationen unter: www.edf.com

* Zahlen aus dem Jahr 2006

1 TPC-Schaltbild



2 TPC-Stationseinheit mit steckbaren Durchführungen aus Kunstharz



Fußnoten

¹⁾ Am 26., 27. und 28. Dezember 1999 wurden Frankreich und Deutschland von schweren Stürmen und Regenfällen heimgesucht, die neben erheblichen Sach- und Flurschäden auch große Schäden am nationalen französischen und deutschen Stromnetz verursachten. Einen ausführlichen Bericht in englischer Sprache finden Sie unter http://www.absconsulting.com/resources/Catastrophe_Reports/Lothar-Martin%20Report.pdf (Stand: April 2007).

²⁾ Flexible, gewellte Kesselwände sorgen für eine ausreichende Kühlung des Transformators und gleichen die Veränderungen des Ölvolumens im laufenden Betrieb aus.

³⁾ Das Normenzentrum (Centre de Normalisation, CDN) der EDF F&E gibt einen Katalog von technischen Spezifikationen heraus. Diese enthalten die technischen Anforderungen, die ein Produkt, Prozess oder eine Dienstleistung erfüllen muss.

⁴⁾ Die IEC 60076-13 gilt für flüssigkeitsgefüllte überspannungsseitig/unterspannungsseitig selbstgeschützte Transformatoren mit natürlicher Kühlung und einer Bemessungsleistung von 50 kVA bis 1.000 kVA in Freiluft- oder Innenraumausführung (www.iec.ch).

Energietechnik

- Wartungsmannschaften vor möglichen Transformatorfehlern zu schützen.

Der TPC-Transformatorschutz funktioniert nicht bei Fehlern im Versorgungsnetz und verursacht keinen Ausfall im Versorgungsnetz, wenn er aktiviert ist.

TPC-Transformatoren bieten zahlreiche Vorteile, insbesondere im Hinblick auf die Umweltbelastung bei einem Ausfall. Darüber hinaus wird die Qualität der Energieversorgung durch die Reduzierung von Ausfallzeiten verbessert. Die Wartung ist einfach, da die Vorschriften für die Wartung von TPC-Transformatoren den Standardvorschriften für hermetisch geschlossene Transformatoren entsprechen. Durch die Verwendung von mastmontierten Einheiten ³ kann auf Sicherungs-/Schaltelemente verzichtet werden, und in Unterstationen stellen TPC-Transformatoren eine kompakte Lösung dar.

Obwohl der Transformator nach den Spezifikationen von EDF entwickelt wurde, lässt sich das Konzept auch auf ölgefüllte Dreiphasen-Transformatoren im Leistungsbereich von 50 bis 250 kVA anwenden und in Zukunft möglicherweise auf 630 kVA ausdehnen. Durch die derzeitige Ausrüstung ist die Spannung des Transformators jedoch auf 24 kV begrenzt.

Fertigung

Die Technologie des ABB TPC-Transformators wurde ursprünglich in Finnland entwickelt. Im Jahr 2004 wurde das Projekt nach Lodz in Polen trans-

feriert, da sich dort die „Focused Factory“ von ABB [1] befindet, die sich schwerpunktmäßig mit der Fertigung und Prüfung von kleinen ölgefüllten Verteiltransformatoren (SDT-Transformatoren) befasst. Seitdem wurde das Abschaltschutzsystem gegenüber dem ursprüngliche TPC-Konzept modifiziert, um die Lösung noch zuverlässiger und produktionsfreundlicher zu gestalten. Die Grundlage dazu lieferten Rückmeldungen von EDF (insbesondere aus dem Bereich F&E) und deren umfassende Kenntnis der spezifischen Kundenbedürfnisse. Die TPC-Transformatoren wurden einer ganzen Reihe von Tests in ganz Europa unterzogen, während die Schutzfunktion in dem erfahrenen und speziell dafür ausgestatteten EDF-Labor in Les Reanadiers geprüft wurde.

Die neue Lösung wird zurzeit patentiert, was ohne die fruchtbare Zusammenarbeit zwischen ABB und EDF nicht möglich gewesen wäre.

Der TPC als neues Marketingwerkzeug

Die Beziehung zwischen ABB und EDF soll auch in Zukunft fortgesetzt werden. So ist ABB bemüht, ihre Geschäftsbeziehung zu EDF als Frankreichs größtes Energieversorgungsunternehmen und Hauptkunde für TPC-Transformatoren kontinuierlich zu verbessern. Als anerkannter Transformatorenlieferant ist ABB nicht nur in der Lage, den normalen Bedarf von EDF zu decken, sondern kann dem Unternehmen auch bei der Erfüllung der Anforderungen des Austauschprogramms für PCB-belastete Öltransformatoren hilfreich zur Seite stehen.

Andererseits erweitert sich durch ein vollständig anerkanntes Produkt der Kreis der potenziellen Kunden. So ist die TPC-Lösung nicht auf EDF und Frankreich beschränkt. Um die neuen Vorschriften zu erfüllen, die nach den Zerstörungen durch den Hurrikan Gudrun im Jahr 2005 in Kraft gesetzt wurden, wird in Schweden zurzeit an einer Spezifikation auf der Basis der IEC 60076-13 gearbeitet. In Erwartung dessen hat ABB eine Reihe von Standardtransformatoren mit TPC-Merkmalen speziell für den schwedischen Markt entwickelt⁵⁾. Dank erfolgreichen Marketings wurden die ersten Einheiten bereits vom nordschwedischen Energie-

versorger Jämtkraft bestellt, wobei der Auftrag in Zusammenarbeit mit dem CSS-Hersteller Norrmontage ausgeführt wird. Mit der Produktion des TPC-Transformators für den internationalen Markt wurde in der ersten Hälfte dieses Jahres in Lodz begonnen. Die weltweiten ABB-Vertriebsteams sind nun damit beschäftigt, dieses hochentwickelte und fortschrittliche Transformatorenkonzept zu vermarkten und die Märkte nach potenziellen Kunden zu sondieren.

Die grundlegenden Prinzipien bzw. die Physik ist bei allen Transformatoren gleich. Was sie jedoch unterscheidet, sind die vorhandenen Sicherheitsmerkmale und/oder spezielle Funktionen, die zur Erfüllung verschiedener Kundenanforderungen und zur Steigerung der Wertschöpfung integriert wurden. ABB zeigt ihr Verständnis für diese Anforderungen, indem das Unternehmen die Entwicklung neuer, effektiver Lösungen unterstützt und bereit ist, die damit verbundenen Veränderungen aktiv voranzutreiben.

Pawel Klys
Marcin Blaszczyk
ABB Poland (R&D support)
Lodz, Polen
pawel.klys@pl.abb.com
marcin.blaszczyk@pl.abb.com

Alain Zagouri
ABB France, Division Energie
Les Ulis, Frankreich
alain.zagouri@fr.abb.com

Peter Rehnstrom
ABB Power Products
Linköping, Schweden
peter.rehnstrom@se.abb.com

Egil Stryken
ABB AS
Drammen, Norwegen
egil.stryken@no.abb.com

Fußnote

⁵⁾ Diese Lösungen wurden von ABB Schweden im Rahmen des SafeGrid-Konzepts entwickelt und eingeführt.

Literaturhinweis

[1] Hegyi, Steven: „Der richtige Takt“, ABB Technik 1/2006, S. 12–15 (Abschnitt „Fabriken mit Prozessfertigung“ auf Seite 14)

³ TPC-Masttransformator mit Freiluftdurchführungen aus Kunstharz





Gut geölt

Fortschrittlicher Einsatz von ABB BIOTEMP® Pflanzenöl in einem Hochspannungs-Leistungstransformator

J. C. Mendes, A. S. G. Reis, E. C. Nogawa, C. Ferra, A. J. A. L. Martins, A. C. Passos

Seit seiner Erfindung wurde der Transformator in seiner Funktionalität und Größe ständig weiterentwickelt, um mit den raschen Veränderungen und der Komplexität von elektrischen Netzen Schritt zu halten. Was sich jedoch seit dem ersten Einsatz eines Transformators im Jahr 1890 in Deutschland praktisch nicht verändert hat, ist die Verwendung von Mineralöl als Isolier- und Kühlmittel. Dabei gab es angesichts der weltweiten Ölkrise Anfang der 1970er Jahre und des stetig steigenden Bedarfs an umweltfreundlichen Brennstoffen verschiedene Bestrebungen, insbesondere für die Automobilindustrie alternative Kraftstoffe zu finden.

Im Bereich der Energietechnik haben brasilianische Stromversorgungsunternehmen intensiv an der Entwicklung eines pflanzlichen Isoliermittels auf der Basis von Rizinusöl gearbeitet. Doch ein von ABB entwickeltes pflanzliches Hochleistungs-Isolieröl für Hochspannungs-Leistungstransformatoren und –Geräte mit dem Namen BIOTEMP® erwies sich als die gesuchte Lösung. BIOTEMP® wurde weltweit erstmalig als Isolier- und Kühlmittel in einem Hochspannungs-Leistungstransformator bei CEMIG, einem brasilianischen Stromversorger und Großkunden von ABB eingesetzt.

Energietechnik

Für eine kosteneffiziente Erzeugung, Übertragung und Verteilung von elektrischer Energie sind Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Belastbarkeit, eine lange Lebensdauer und ein geringer Wartungsaufwand für Leistungstransformatoren bei gleichzeitiger Berücksichtigung ökologischer Anforderungen von entscheidender Bedeutung. Dies hat viele Energieversorgungsunternehmen (EVUs) dazu veranlasst, nach fortschrittlichen Technologien für neue Transformatoren und zur Modernisierung vorhandener Transformatoren Ausschau zu halten.

In Brasilien interessieren sich EVUs und die Industrie zum Beispiel zunehmend für mit Pflanzenöl gefüllte Betriebsmittel – nicht nur aus ökologischen Gründen, sondern auch weil der Einsatz von Brenn- und Kraftstoffen auf pflanzlicher Basis von der Regierung unterstützt wird¹⁾. Außerdem wird versucht, wegen des korrosiven Schwefels in importiertem Öl und aus wirtschaftlichen Gründen das importierte Mineralisieröl so weit wie möglich zu ersetzen. Ferner hat der brasilianische Normungsausschuss bereits eine Spezifikation für pflanzliches Isolieröl veröffentlicht, die sich an der entsprechenden ASTM²⁾ orientiert.

Infobox 1 CEMIG

CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) ist der Stromversorger des Bundesstaates Minas Gerais im Südosten Brasiliens. Das Unternehmen verfügt über eine installierte Leistung von 6.113 MW, ein Übertragungsnetz mit einer Gesamtlänge von über 21.000 km (wovon 4.912 km für die Höchstspannungsübertragung zwischen 230 kV und 500 kV reserviert sind), sowie ein Verteilnetz von über 379.400 km Länge. CEMIG versorgt ein Gebiet von der Größe Frankreichs (ca. 568.000 km²) mit 774 Städten und rund 17 Millionen Einwohnern.

Ein EVU, das sich nie gescheut hat, neue Technologien auszuprobieren ist CEMIG [Infobox 1](#). Schon seit langem unterstützt das Unternehmen die Entwicklung und den Einsatz fortschrittlicher Technologien von ABB. In den 1970er Jahren war CEMIG das erste brasilianische EVU, das ein 525-kV-Fernübertragungssystem³⁾ von ABB einführte, und 1992 das erste Unternehmen, das ABB bei der Entwicklung und Umsetzung eines Projekts für die Vor-Ort-Reparatur großer Leistungstransformatoren unterstützte [1]. Vor kurzem präsentierte CEMIG eine Komplettlösung zur Diagnose und vollständigen Modernisierung von Kompensations-Drosselspulen für 525 kV [2]. So ist es wenig überraschend, dass CEMIG auch das weltweit erste EVU war, das BIOTEMP® [3] als Isolier- und Kühlmittel in seinem Transformatortyp für Netzspannungen von 145 kV einsetzte.

Zusammenarbeit

Neben der fortlaufenden Unterstützung bei der Entwicklung und Anwendung neuer Technologien waren noch andere Faktoren ausschlaggebend für die Beteiligung von CEMIG am Projekt. So ist das Unternehmen als Stromversorger ständig bestrebt, die Zuverlässigkeit der Versorgung seiner Kunden zu verbessern. Das bedeutet, dass eine extrem hohe und sichere Überlastbar-

keit der Transformatoren erforderlich ist. Außerdem ist CEMIG daran interessiert, sich als führender Anbieter umweltfreundlicher und zuverlässiger Energie zu positionieren. Da ist der Einsatz eines vollständig wiederaufbereiteten, erneuerbaren und leicht zu entsorgenden Isolieröls ist mit Sicherheit ein Schritt in die richtige Richtung.

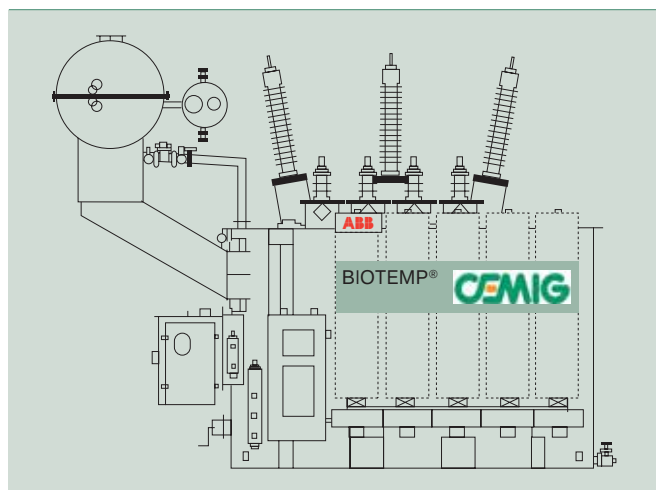
Das gemeinsame Projekt von ABB und CEMIG konzentrierte sich hauptsächlich auf einen Transformatortyp, der 1974 an CEMIG geliefert wurde. Die ursprüngliche Nennleistung von 10/15 MVA bei 138/13,8 kV (ONAN/ONAF) wurde durch den Einsatz moderner Technologien einschließlich hybrider Feststoffisolierung (DuPont Nomex® und Zellulose) in Kombination mit BIOTEMP® Pflanzenöl von ABB als Isolier- und Kühlmittel auf 25 MVA (ONAF) gesteigert. Weitere Merkmale des modernisierten Transformators sind:

- modernste TrafoStar™-Technologie von ABB
- eine extreme hohe Überlastbarkeit von bis zu 70 % der Nennleistung ohne Verkürzung der Lebensdauer
- fortschrittliche elektronische Transformatorsteuerung und -überwachung TEC von ABB
- Niederspannungsregulierung mithilfe eines mit BIOTEMP® Pflanzen-

Infobox 2 Typische Eigenschaften von Isolierflüssigkeiten für Transformatoren (HTH = High Temperature Hydrocarbon Fluid (ASTM D5222))

TYPISCHE EIGENSCHAFTEN VON ISOLIERFLÜSSIGKEITEN				
	BIOTEMP	Mineralöl	HTH	Silikon
Elektrische Eigenschaften				
Dielektrische Festigkeit, kV (ASTM D877)	45	30	40	43
Physikalische Eigenschaften				
Viskosität, cSt 100°C	10	3	11,5	16
(ASTM D445) 40°C	45	12	110	38
0°C	300	76	2.200	90
Flammpunkt, °C (ASTM D92)	330	145	285	300
Brennpunkt, °C (ASTM D92)	360	160	308	330
Spezifische Wärme, cal/g°C (ASTM D2766)	0,47	0,43	0,45	0,36
Ausdehnungskoeffizient, pro °C (ASTM D1903)	6,88 x 10 ⁻⁴	7,55 x 10 ⁻⁴	7,3 x 10 ⁻⁴	1,04 x 10 ⁻³
Stockpunkt, °C (ASTM D97)	-15 bis -25	-40	-24	-55
Spez. Gewicht (ASTM D1298)	0,91	0,91	0,87	0,96
Farbe (ASTM D1500)	<0,5	0,5	0,5 - 2,0	<0,5
Umwelteigenschaften				
Biolog. Abbaubarkeitsrate (%) nach 21 Tagen gem. CEC-L-33-A-93/94	97,0	25,2	27,1	0,0

1 Der neue, mit BIOTEMP® Pflanzenöl von ABB gefüllte Regeltransformator für 25 MVA/145 kV



öl gefüllten Laststufenschalters vom Typ UZ

- ABB Hochspannungsdurchführungen vom Typ GOB, die ebenfalls mit BIOTEMP® Pflanzenöl gefüllt sind.

Zu den Vorteilen eines solchen Transformators für CEMIG gehören:

- eine hohe Zuverlässigkeit
- eine hohe Verfügbarkeit durch geringeren Wartungsaufwand
- niedrigere Installationskosten
- eine wesentlich geringere Explosionsgefahr und ein geringeres Risiko von Boden- und Grundwasserverschmutzungen als bei einem mit Mineralöl gefüllten Transformator. Selbst wenn es zu einer Explosion käme, wären die entstehenden Nebenprodukte ungiftig und weit aus weniger schädlich.

BIOTEMP®: ein überragendes Pflanzenöl
BIOTEMP® ist der Markenname eines fortschrittlichen, biologisch abbaubaren elektrischen Isoliermittels, das aus ölsäurereichem Pflanzenöl besteht und aus natürlichen, erneuerbaren Ressourcen gewonnen wird. Es verfügt über ausgezeichnete dielektrische Eigenschaften mit einer hohen Temperaturstabilität und einem Flamm- bzw. Brennpunkt von 330 °C bzw. 360 °C im Vergleich zu 145 °C und 160 °C bei Mineralöl. BIOTEMP® verträgt sich sehr gut mit festen Isoliermaterialien und ist in 21 Tagen zu 97 % biologisch abbaubar. Es ist oxidationshemmend und sowohl gemäß ASTM D2440 (Standardprüfmethode für die Oxidationsbeständigkeit von Mineralisieröl) als

auch ASTM D3487 Typ II [4] (es enthält keine polychlorierten Biphenyle, PCBs) zugelassen. Ein Vergleich von BIOTEMP® mit anderen Isolierflüssigkeiten ist in der **Infobox 2** dargestellt.

Da BIOTEMP® Pflanzenöl Wasser aufnehmen kann, verlängert es die Lebensdauer des darin eingetauchten Isolierpapiers erheblich. Tatsächlich haben Messungen der Zugfestigkeit und des Polymerisationsgrads ergeben, dass in BIOTEMP® eingetauchtes Kraftpapier doppelt so lange hält wie in Transformatoröl auf Mineralölbasis. In Verbindung mit den thermischen Eigenschaften von BIOTEMP® bedeutet dies, dass der Transformator eine höhere Heißpunkttemperatur in seiner Wicklung unterstützen kann. Zusätzlich bieten die thermischen Eigenschaften folgende Vorteile bei der Installation:

- Im Schaltfeld der Unterstation sind keine Brandmauern mehr erforderlich.
- Die Kosten für die Feuerhaftung und Versicherungen fallen niedriger aus.
- Die Anforderungen an die Feuerlöschanlage des Schaltfelds in der Unterstation können optimiert werden.
- Der Abstand zwischen dem Transformator und benachbarten Anlagen und/oder Gebäuden ist weniger kritisch.

Die Summe des Ganzen

Das elektrische und mechanische Redesign des Transformators wurde voll-

Infobox 3 Transformatordaten vor und nach der Modernisierung

	Original	Modernisiert
Seriennummer	54381	
Hersteller	ASEA	ABB
Jahr	1974	2006
Frequenz, Hz	60	60
Phasen	3	3
Spannung	138 ± 2 x 2,5 % / 13,8 ± 16 x 0,625 kV	
Nennleistung, MVA	15 (ONAF2)	25 (ONAF2)
Überlastbarkeit, MVA	-	37,5 (6 h, 150 %) 42 (4 h, 170 %)
Laststufenschalter	UZERN 250	UZF 250
Isolierung	Zellulose	Hybrid (Nomex + Zellulose)
Öltyp	Mineralöl	BIOTEMP®

ständig von ABB Brasilien durchgeführt. Die Schwerpunkte waren:

- *Auslegung der Wicklungsisolierung mit Nomex® Papier und Presspappe.* Die dielektrische Durchlässigkeit dieser Materialien in pflanzlichem Isolieröl ist völlig anders als die von herkömmlichem Zellulosepapier in Mineralisieröl. Daraus ergibt sich eine bestimmte Verteilung des elektrischen Potenzials auf der Grundlage der kombinierten Isolationsstruktur aus der mit Isolieröl getränkten Zellulose bzw. Nomex® (Papier und/oder Presspappe).
- *Interne Wicklungsverbindungen mit papierisolierten Kabeln zur elektrischen und thermischen Auslegung für Überlastbedingungen*
- *Auslegung des externen Kühlsystems und Bewertung des Temperaturanstiegs unter Berücksichtigung der Unterschiede in der Viskosität von Pflanzen- und Mineralöl sowie der extrem hohen Überlastanforderungen.*

Fußnoten

¹⁾ In Brasilien sind Autos heute mit einem flexiblen, automatischen Kraftstoffregelungssystem ausgestattet, das die Verwendung von Erdgas, Benzin, aus Zuckerrohr gewonnenem Ethanol oder einem Gemisch aus beliebigen Anteilen von Benzin und Ethanol erlaubt. Lkw werden mit Biodiesel betrieben.

²⁾ ASTM International ist eine internationale Normierungsorganisation, die unverbindliche technische Normen für eine Vielzahl von Materialien, Produkten, Systemen und Dienstleistungen entwickelt.

³⁾ In den 1970er Jahren trugen BBC (Brown, Boveri & Cie.) und ASEA als unabhängige Unternehmen zum Bau des 525-kV-Netzes von CEMIG bei.

Energietechnik

Der modernisierte Transformator ist in **1** dargestellt, und die **Infobox 3** zeigt die wichtigsten Daten vor und nach dem Redesign. Die Fertigung des Transformators erfolgte entsprechend den ABB TrafoStar™-Richtlinien. Zur Befüllung mit Pflanzenöl wurde ein eigens angepasstes Verfahren mit einem separaten temporären Ölsystem und speziellen Aggregaten zur Ölaufbereitung wie einer Thermovakuumanlage, Filtern, Heizelementen und Schläuchen verwendet. Andere Faktoren wie die Aufbereitung, Vakuumdauer, Ölbefüllung per Vakuum, Ölzirkulationsdauer und abschließende Standzeit vor der Durchführung der Tests wurden ebenfalls berücksichtigt. Die Qualität wurde in jeder Phase des Prozesses gemäß dem internen Six-Sigma-Prozess⁴⁾ von ABB überwacht. Die Hochspannungsdurchführungen vom Typ GOB wurden ebenfalls mit BIOTEMP®

Pflanzenöl gefüllt und sorgfältig getestet.

Großartige Leistung

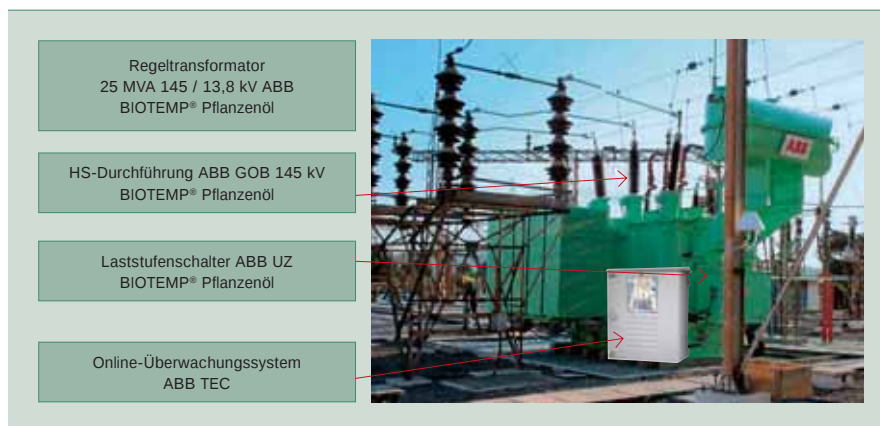
2 zeigt den montierten Transformator im Prüffeld des Hochspannungslabors von ABB in Brasilien. Dort wurden alle üblichen Routineprüfungen [5, 6] sowie eine Reihe eigens entwickelter Tests durchgeführt. Zu den dielektrischen, thermischen und betrieblichen Prüfungen gehörten:

- Blitzstoßspannungs- (volle und abgeschnittene Wellen) und Schaltstoßspannungsprüfungen an allen Wicklungsanschlüssen
- Kurzzeitprüfungen mit Wechselstrom
- Langzeit-Windungsprüfungen mit induzierter Spannung – einschließlich Teilentladungsmessungen – vor und nach dem Erwärmungslauf (mit Messung des Temperaturanstiegs im

- Öl und in den Wicklungen) sowie thermische Prüfungen bei Überlast
- Messungen des Schallpegels unter Last und im Leerlauf einschließlich Messungen des Rauschspektrums im Oktavband
- Langzeit-Überlastprüfung
- Langzeitprüfungen mit Übererregung bei Netzfrequenz
- Frequenzganganalyse (Frequency Response Analysis, FRA)

Alle dielektrischen und thermischen Prüfungen wurden durch Öl-/Gasgehaltsanalysen (Dissolved Gas Analysis, DGA) überwacht. Die Ergebnisse dieser Analysen zeigten keine nennenswerte Abweichung der Gaskonzentration vor und nach den elektrischen und thermischen Prüfungen – ein deutliches Zeichen für die überragende Leistung und Zuverlässigkeit des Transformators [7].

2 Ein mit BIOTEMP® Pflanzenöl gefüllter Transformator auf dem Hochspannungs-Prüffeld von ABB Brasilien



Der Einsatz von BIOTEMP® Pflanzenöl bietet auch Vorteile beim Transport. Dadurch, dass der Transformator bereits mit BIOTEMP® gefüllt befördert werden kann, fallen die Kosten und der bürokratische Aufwand geringer aus. Im Gegensatz dazu muss Mineralöl in einem separaten Behälter befördert werden. Aus diesem Grund war der Transport des Transformators vom ABB-Werk zur 500 km entfernten CEMIG-Unterstation Cidade Industrial relativ einfach. Nach erfolgter Installa-

Fußnote

⁴⁾ Die Six-Sigma-Verfahren von ABB entsprechen den Normen ISO 9001 und ISO 14001.

3 Der modernisierte, mit BIOTEMP® Pflanzenöl gefüllte Transformator im Betrieb in der CEMIG-Unterstation



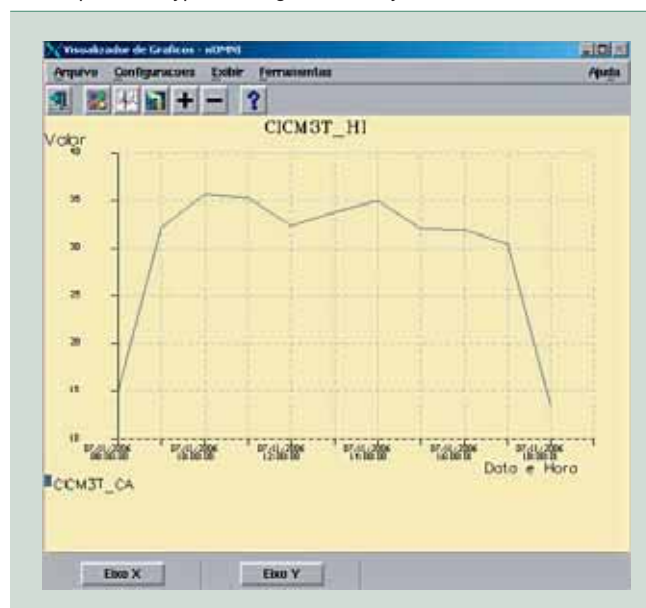
tion und Inbetriebnahme ging der Transformator Ende Juli 2006 in den kommerziellen Betrieb. Seitdem bewältigt er fast täglich Spitzenlasten von bis zu 42 MVA (170 % der Nennleistung) [4].

Der Betrieb des Transformators wird mit dem TEC On-line-Überwachungssystem von ABB und durch herkömmliche Ölprüfungen, Überwachung der Öl- und Wicklungstemperaturen sowie regelmäßige Infrarotscans überwacht. Das Ziel hierbei ist es, das Betriebsverhalten sowohl des Transformators als auch des BIOTEMP® Pflanzenöls so genau wie möglich zu verfolgen. Die bisherigen Ergebnisse lassen eine hohe Zuverlässigkeit des Transformators erkennen, insbesondere unter Überlastbedingungen.

Ausblick

Die Entwicklung neuer Materialien stellt einen bedeutenden Fortschritt für die Transformatortechnik dar. Sie bietet EVUs die Möglichkeit, alte Transformatoren zu modernisieren und so die Vorteile dieser Entwicklungen in Form von höherer Sicherheit, geringerem Wartungsaufwand und längerer Produktlebensdauer für sich zu nutzen. Etablierte, kooperative Entwicklungsprojekte wie das zwischen ABB und CEMIG bieten ideale Voraussetzungen für die Anwendung neuer und fortschrittlicher Transformatortechnologien, von denen nicht nur die beiden Unternehmen, sondern auch

4 Beispiel eines typischen täglichen Lastzyklus



die Energiewirtschaft und die Gesellschaft als Ganzes profitieren.

Ein direktes Beispiel hierfür im Zusammenhang mit dem ABB/CEMIG-Entwicklungsprojekt ist die Erhöhung der Nennleistung des ursprünglichen Transformators durch die thermischen Eigenschaften neuer Materialien. Außerdem konnte die Überlastbarkeit des Transformators von 150 auf 170 % seiner Nennleistung gesteigert werden. Und schließlich konnten durch die Verwendung von BIOTEMP®, einem erneuerbaren und biologisch abbaubaren Pflanzenöl von ABB, die Sicherheit erhöht und die Kosten für die Installation beim Kunden gesenkt werden. Langfristig bedeutet dies für CEMIG eine geringere Explosionsgefahr, ein gerin-

gerer Wartungsaufwand und eine längere Lebensdauer der Transformatoren.

Dennoch bleibt für die Stromversorgungsindustrie noch viel zu tun. Die Suche nach Möglichkeiten zur weiteren Vereinfachung und Optimierung zukünftiger Unterstationen wird die Ingenieure noch lange Zeit beschäftigen. Ein erster Schritt in diese Richtung wäre eine Überprüfung der heutigen Installationsstandards für Transformatoren und der örtlichen Gesetzgebung. In jedem Fall ist die Anwendung dieser neuen Transformatortechnologie für Spannungen über 145 kV nur noch eine Frage der Zeit.

J. C. Mendes

A. S. G. Reis

E. C. Nogawa

C. Ferra

ABB Power Transformer Division
Sao Paulo, Brasilien
jose-carlos.mendes@br.abb.com
alex.reis@br.abb.com
elaine.nogawa@br.abb.com
celso.ferra@br.abb.com

A. J. A. L. Martins

A. C. Passos

CEMIG – Companhia Energética de
Minas Gerais
Belo Horizonte, MG, Brasilien
ajm@cemig.com.br
adrianap@cemig.com.br

Danksagungen

Die Autoren danken den Kollegen der ABB Power Transformers Division in Brasilien, deren Einsatz und Fachkompetenz zur Entwicklung einer Technologie beigetragen haben, die die Realisierung von hochwertigen, mit Pflanzenöl gefüllten Hochspannungstransformatoren ermöglicht hat.

Literaturhinweise

- [1] Mendes, J. C. et al.: „On Site Repair of HV Power Transformers“, CIGRÉ, 12–114, Paris, Tagung 2002
- [2] Rocha, A. C. O., Mendes, J. C.: „Assessment of An EHV Shunt Reactor Insulating and Mechanical Performance by Switching Surge Analysis“, CIGRÉ, A2-301, Paris, Tagung 2006
- [3] US-Patent Nr. 4.627.1992: „Sunflower Products and Methods of Their Protection“, 9. Dezember 1986
- [4] Oommen, T. V., Claiborne, C. C.: „Biodegradable Insulating Fluid from High Oleic Vegetable Oils“, CIGRÉ, 15–302, Paris, Tagung 1998
- [5] ABNT: „Transformador de Potência: Especificação“, Norm NBR 5356, Rio de Janeiro, BR, August 1993
- [6] ABNT: „Transformador de Potência: Método de Ensaio“, Norm NBR 5380, Rio de Janeiro, BR, Mai 1993
- [7] ABB: „Transformador No. de Série 54831 – CEMIG“, Relatório de Ensaio 1ZBR 06-0150, São Paulo, 29. Mai 2006, S. 112

Weiterführende Literatur

Goldemberg, J.: „Ethanol for a Sustainable Energy Future“, Science Magazine, Bd. 315, Nr. 5813, S. 808–810, Februar 2007
IEEE: „The Omnivorous Engine“, IEEE Spectrum Magazine, S. 30–33, New York, Januar 2007
Marinho J. R., Sampaio, E. G. and Monteiro, M. M.: „Castor Oil as an Insulating Fluid“, CIGRÉ, 500-06, Symposium 05-87, Wien, 1987

Kurzer Prozess

ABB DDC-Servotechnologie ermöglicht schnellere Pressenlinien

Sjoerd Bosga, Marc Segura



Von der Einführung des Fließbands durch Henry Ford vor über 100 Jahren bis zum umfassenden Einsatz von Robotern in der heutigen Zeit war die Automobilindustrie in puncto Produktivität häufig führend. Auf der Suche nach weiterer Optimierung sind Hersteller und Zulieferer ständig dabei, ihre Prozesse zu überdenken. Ein Kandidat mit großem Verbesserungspotenzial ist das Presswerk – der kapitalintensivste Bereich der ganzen Fabrik.

Die Karosserie eines Autos wird normalerweise aus mehreren Hundert Metallteilen zusammengefügt, von denen die meisten in Pressen gefertigt werden. Der Durchsatz dieser Pressen ist ein Bereich mit hohem Optimierungspotenzial, doch leider wirkt sich die Erhöhung der Pressengeschwindigkeit negativ auf die Produktqualität aus. Was sich jedoch beschleunigen lässt, ohne den eigentlichen Pressvorgang zu verändern, sind die Abläufe dazwischen. Dies ist die Aufgabe der ABB DDC (Dynamic Drive Chain) Technologie, einer Lösung auf der Basis von Servomotoren. Ein großer Vorteil dieser Technologie ist, dass sie in bestehende Linien integriert werden kann, um das Risiko für den Kunden zu minimieren und seine Investition zu schützen.

Eine deutliche Steigerung der Produktivität zu erschwinglichen Kosten – dies ist das Hauptziel der Automobilindustrie, wenn es um Investitionen in Presswerke geht. Da das Presswerk der kapitalintensivste Bereich eines Fahrzeugwerks ist, fließen die Investitionen nicht ausschließlich in neue Anlagen. Und da große Pressen eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten haben können, möchten viele Betreiber in der Lage sein, ihre bestehenden Linien nachzurüsten. Aus diesem Grund entwickelt ABB ständig neue Technologien, die zur Steigerung der Produktivität von neuen und bestehenden Pressenlinien beitragen. In einem Presswerk werden Fahrzeugteile wie Türen, Dächer usw. aus großen Blechrollen (sog. Coils) hergestellt. Nach dem Zuschneiden bzw. Stanzen der Rohlinge durchlaufen die Teile nacheinander drei bis fünf Pressen ¹. In der einfachsten Ausführung dieses Prozesses nimmt ein Entstapler am Anfang der Linie den Rohling und legt ihn in die erste Presse ², ³. Weitere Roboter übergeben die Teile von einer Presse zur nächsten, bis am Ende der Line ein Roboter oder Mensch die Teile in ein Gestell stapelt. Ein bedeutender Faktor für die Produktivität ist die Dauer eines einzelnen Pressenzyklus ⁴. Dieser besteht aus zwei Teilen, von denen der erste (T1) ausschließlich von den Robotern und der zweite (T2) von der Presse bestimmt wird. T1 beinhaltet das Ent- und Beladen der Presse durch zwei verschiedene Roboter. Typischerweise beginnt der Entladevorgang, sobald die Presse weit genug geöffnet ist, damit der Entlader hineingreifen kann.

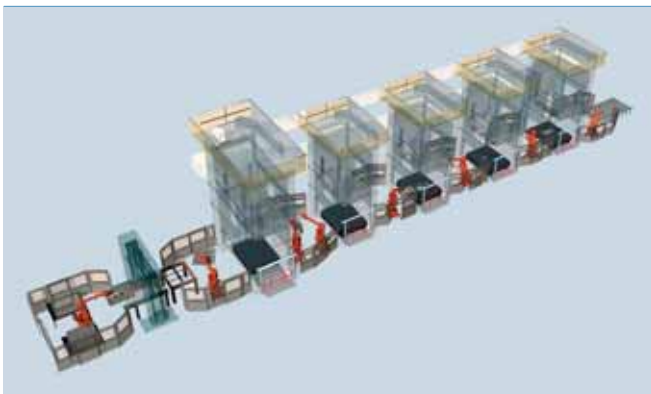
Analog dazu beginnt sich die Presse bereits nach unten zu bewegen, bevor das Beladen vollständig abgeschlossen ist. In einer idealen Konfiguration sind die Bewegungen von Presse und Roboter optimal synchronisiert. Die Stampware Software von ABB ⁵ bietet diese Funktionalität als Standard. Die Bewegung der Presse selbst (Teil T2 des Zyklus) lässt sich wiederum in drei Phasen unterteilen. In der ersten Phase schließt sich die Presse, d. h. sie bewegt sich nach unten, bis das Obergesenk das zu pressende Teil berührt. Von diesem Punkt an beginnt das eigentliche Formen (zweite Phase). Der Prozess ist zu Ende, wenn die Presse den niedrigsten Punkt in ihrer Bewegung, den unteren Totpunkt, erreicht hat. Danach beginnt die Presse, sich wieder zu öffnen (dritte Phase). Bisher konzentrierten sich die Bemühungen von ABB um eine Optimierung dieses Vorgangs auf den Teil T1 des Zyklus – d. h. auf die Zeit, die von den Robotern benötigt wird. Mit Erfolg, denn innovative Entwicklungen wie ein spezieller Roboter zur Pressenautomatisierung, eine optimierte Roboterplatzierung, Verfahren zur Robotersynchronisation und eine spezielle siebente Achse für den Roboter haben zu einer Verkürzung der T1-Phase von über sechs Sekunden noch vor fünf Jahren auf weniger als drei Sekunden geführt, und das auch bei großen Teilen. Allerdings wird bei einer so deutlichen Verkürzung der Phase T1 die Phase T2 zunehmend zum Engpass. Bei einer herkömmlichen mechanischen Presse lässt sich die Phase T2 nicht ohne Weiteres verkürzen, denn die Geschwindigkeit wird von einem großen

Schwungrad bestimmt und durch die Vorgaben des Pressvorgangs beschränkt. Welche Möglichkeiten bleiben also, um die Zykluszeit weiter zu verkürzen? Die Beschäftigung mit diesem Problem führte zur Entwicklung der ABB Dynamic Drive Chain (DDC) Technologie ⁶. Dazu war eine intensive Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Kompetenzzentren innerhalb des Konzerns erforderlich, darunter das Global Lead Center für Pressenautomatisierung in Spanien und die Electrical Machines and Intelligent Motion Group am Forschungszentrum in Västerås, Schweden. Doch internes Know-how zu bündeln, reicht in einem solchen Fall nicht aus. Um eine echte Optimierung der Produktivität von Pressenlinien zu erreichen, war eine intensive Beteiligung von Kunden erforderlich.

Hilfreiche Servotechnik

Die Hauptaufgabe der Servotechnik in großen Pressen besteht darin, bei gleicher Pressgeschwindigkeit das Öffnen und Schließen der Presse zu beschleunigen. Es ist sogar möglich, den Pressvorgang mit einer geringeren Geschwindigkeit als heute üblich zu beginnen und dennoch eine Produktivitätssteigerung zu erzielen. Langsameres Pressen bedeutet eine höhere Teilequalität – nach der Geschwindigkeit der zweite wichtige Erfolgsfaktor. Laut Iñaki Zubiete (Robotics & New Investments Manager bei Gestamp – Estampaciones Bizkaia) werden Pressen häufig nur mit 80–85 % ihrer Höchstgeschwindigkeit betrieben, um die erforderliche Qualität zu gewährleisten, wobei 7–15 % an Produktivität verloren gehen – Zahlen, die auch

¹ Darstellung einer Tandem-Pressenlinie: Rohlinge werden entstapelt, gewaschen, zentriert und in die Ziehpresse eingelegt, um danach eine Reihe von Schneid- und Stanzvorgängen zu durchlaufen.



² Pressenlinie im PSA-Werk in Poissy mit robotergestützter Entstapelzelle von ABB zur Beschickung der Pressen mit Blechrohlingen



Automatisierung

Santiago Mínguez (Standard Equipment Engineering Manager bei Renault Valladolid) bestätigt.

Wie hoch ist also der Produktivitätsgewinn, der sich mithilfe von Servotechnik erzielen lässt? Viel hängt dabei von der Dimensionierung des Servoantriebs ab. Um die Möglichkeiten in Verbindung mit bestehenden Pressendesigns zu untersuchen, startete ABB eine Zusammenarbeit mit dem spanischen Pressenhersteller FAGOR, mit dem ABB seit über zehn Jahren enge Beziehungen unterhält. Simulationen, die in Zusammenarbeit mit FAGOR durchgeführt wurden, zeigten, dass selbst mit einem relativ kleinen Servomotor allein durch Verwendung der Servotechnologie eine Steigerung der Produktivität um 10–30% erzielt werden kann. In Verbindung mit den neusten Entwicklungen auf dem Gebiet der Roboterautomatisierung sind sogar noch größere Steigerungen möglich.

Die größenmäßige Begrenzung des Servoantriebs ist seit jeher ein Kernaspekt in der Entwicklung von ABB-Antrieben für Servopressen. Gespräche mit Gerard Lallouette (Structure & Stamping Manager bei PSA Peugeot Citroën) über die

Realisierbarkeit von Servopressen führten zu der Erkenntnis, dass die vorgeschlagene Lösung nicht nur die Kosten für den Pressenantrieb selbst, sondern auch die Kosten für das Stromnetz in der Fabrik, die Energiekosten und den Spitzenleistungsbedarf berücksichtigen sollte. So wäre es ein echtes Problem, wenn eine große Servopresse statt der heute üblichen 500 kW auf einmal 5 MW benötigen würde.

Eine Lösung mit niedrigem Spitzenleistungsbedarf

ABB bietet nun einen Servo-Pressenantrieb, dessen Spitzenleistungsbedarf in den meisten Fällen keine Neudimensionierung des werkseigenen Stromnetzes erfordert. Wie das möglich ist? Das Geheimnis liegt in der Steuerung und dem Design des Antriebssystems, die beide auf den Erkenntnissen aus vorangehenden Forschungsprojekten basieren.

Ein wichtiger Aspekt des Designs ist die Trägheit der bewegten Massen in der Presse und dem Antrieb. Während träge Massen normalerweise den Ruf haben, die Dynamik eines Servoantriebs einzuschränken, können sie auch zur Speicherung von Energie verwendet werden, die dann abgegeben wird, wenn sie vom Pressenantrieb am dringendsten benötigt wird.

In einer ersten Version des ABB Servo-Pressenantriebs blieb das herkömmliche Schwungrad ^{6a} der Presse erhalten, um die erforderliche Spitzenleistung während des eigentlichen Formens innerhalb des Zyklus bereitzustellen. Im Gegensatz zu einer mechanischen Presse wird die Presse weder mechanisch gebremst, noch wird die

Kupplung zur Beschleunigung der Presse verwendet. Stattdessen sorgt die ABB DDC-Technologie für ein sanftes Beschleunigen und Abbremsen der Presse. Die Kupplung ^{6a} kommt zum Einsatz, nachdem der Servoantrieb die Presse auf eine synchrone Geschwindigkeit gebracht hat. In einer zweiten Version wurde auf die herkömmliche Kupplung und das Schwungrad komplett verzichtet und der Servoantrieb anders dimensioniert.

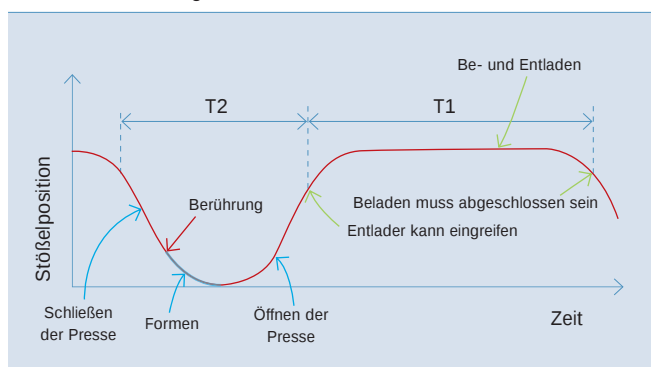
Eine Lösung für bestehende Pressenlinien

Bereits zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung des Servo-Pressenantriebs besprach ABB die Idee mit Kunden wie Gestamp und PSA. Diese waren sich einig: Es sollte eine Servo-Lösung zur Nachrüstung bestehender Pressenlinien geben, und es sollte möglich sein, sich vor der Installation einer komplett neuen Servopressenlinie mit der Servotechnologie vertraut zu machen. Diese Anforderungen lieferten die Hauptimpulse für die weitere Arbeit bei ABB, die sich zunächst auf die Entwicklung einer Lösung konzentrierte, die bestehende Pressen in Servopressen umwandelt. Das Ergebnis ist das sogenannte *Press Upgrade Kit*. Eine wichtige Eigenschaft, die sowohl von Gestamp als auch von anderen Kunden eindringlich gefordert wurde, war eine einfache Installation der Nachrüstung, die sich idealerweise während des normalen einmonatigen Stillstands im Sommer durchführen lässt. Während solche Anforderungen gemeinhin als Einschränkung empfunden werden, regten sie die Ingenieure von ABB dazu an, eine Lösung zu ent-

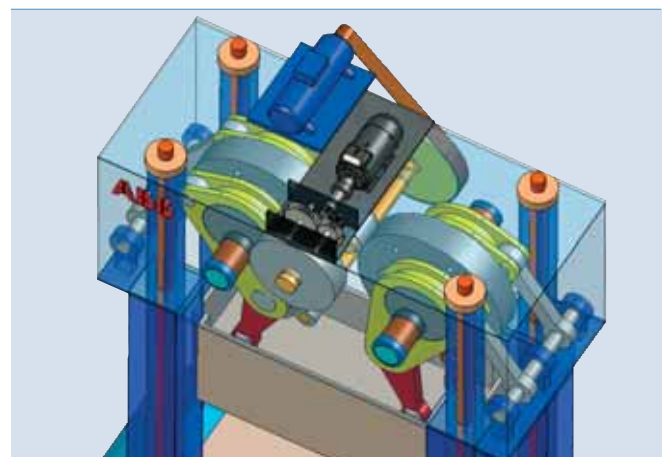
3 Roboter übergeben Teile an die Pressenlinie



4 Typisches Positionsprofil einer klassischen mechanischen Presse. Ein Teil der Bewegung (T2) wird ausschließlich von der Presse (Schließen, Pressen, Öffnen) und der andere Teil (T1) von der Be- und Entladeeinrichtung bestimmt.



Position des DDC-Systems an einer Presse



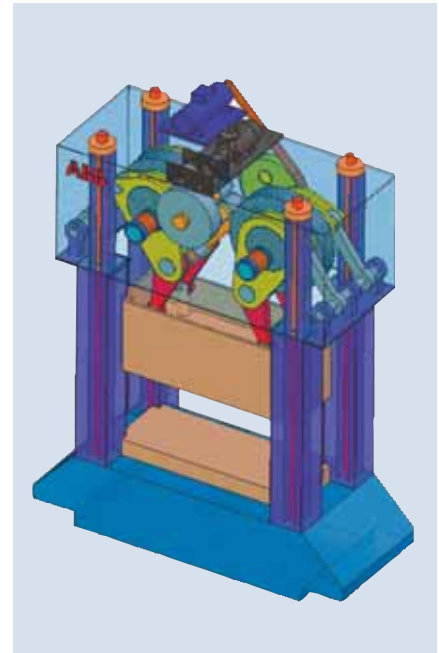
wickeln, die diese Anforderungen nicht nur erfüllt, sondern auch eine risikoarme, reversible Lösung darstellt.

Eine risikoarme Lösung

Wenn ein Kunde eine Pressenlinie nachrüstet, geschieht dies normalerweise aus gutem Grund. Zum Beispiel wegen des Produktionsstarts eines neuen Fahrzeugmodells oder – bei Tier-1-Zulieferern – aufgrund eines bedeutenden Vertrags. Als FAGOR und ABB den Bau des ersten Prototyps planten, war eine der Hauptfragen, ob das System innerhalb sehr kurzer Zeit installiert werden konnte. Die entwickelte Lösung – das Press Upgrade Kit – lässt sich nicht nur innerhalb kürzester Zeit installieren; sollte sich die Installation unerwartet verzögern, kann das Kit einfach wieder entfernt und die Produktion auf herkömmliche mechanische Weise begonnen werden.

Währenddessen veranlassten Gespräche mit dem Assistant Manager der Pressenabteilung 1 bei Honda in Guangzhou (China) ABB dazu, noch einen Schritt weiter zu gehen und die ersten DDC-Servopressen mit einem Schalter auszustatten, mit dem sich die neue Technologie vollständig abschalten lässt. Übrig bleibt dann eine herkömmliche mechanische Presse, die genauso genutzt werden kann, wie es seit 50 Jahren der Fall ist.

Obwohl die DDC-Technologie einen immensen technologischen Fortschritt darstellt (die darin enthaltenen F&E-Innovationen reichen von neuen Pressentopologien bis hin zu fortschrittlicher Steuerungssoftware), basiert sie auf bestehenden ABB-Produkten wie dem Frequenzumrichter ACS800 und der Robotersteuerung IRC5. Dies ist besonders für eine eher konservative



5 ABB Stampware: das spezielle Softwarepaket für ABB IRC5-Robotersteuerungen in Presswerken

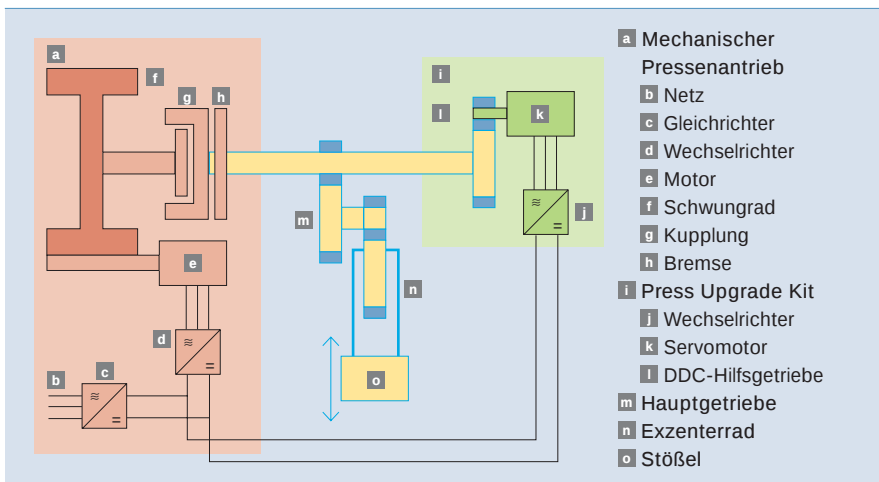


infobox 1 DDC (Dynamic Drive Chain)

Herkömmliche Pressenautomatisierungs- und Antriebssysteme sind typische Beispiele für eine „diskrete“ Automatisierung, bei der die verschiedenen Schritte des Produktionsprozesses durch eine Folge von „Freigabesignalen“ miteinander verbunden sind. Die Kupplung der Presse wird betätigt, sobald die Beladung abgeschlossen ist, und der Entladevorgang beginnt, nachdem der Pressvorgang beendet ist. Erst dann wird ein neuer Zyklus gestartet. Bei dieser Betriebsart entstehen viele „Lücken“ zwischen den einzelnen Schritten, was die Effizienz mindert. Außerdem kann sich das System nicht an veränderte Bedingungen an der Linie anpassen, sodass für eine gute Optimierung eine kontinuierliche Feinabstimmung erforderlich ist.

Es wurden zwar einige Schritte unternommen, um diese Situation zu verbessern – zum Beispiel durch Synchronisation von Roboter und Presse bzw. zwischen den Robotern mithilfe von ABB-Technik – doch ein vollständig integriertes Bewegungssteuerungssystem, das die Pressen einschließt, war lange Zeit nicht verfügbar. Als Antwort darauf hat ABB, aufbauend auf ihrem einzigartigen Know-how auf dem Gebiet der Robotik, Motoren und Antriebe, eine revolutionäre Steuerungs- und Antriebsarchitektur entwickelt, die Pressenlinien in einen kontinuierlichen/adaptiven Fertigungsprozess umwandelt: Dynamic Drive Chain.

6 Schematische Darstellung einer Servopresse mit dem klassischen mechanischen Pressenantrieb **a** und dem Press Upgrade Kit **i**



Automatisierung

Infobox 2 Pressenautomatisierung mit DDC

Was genau erwarten Kunden, wenn Sie mit ABB an der Automatisierung einer Pressenlinie zusammenarbeiten? Neben dem Hauptziel einer höheren Produktivität gibt es drei Schlüsselfaktoren, die für die Profitabilität von Presswerken eine Rolle spielen:

Geschwindigkeit

Je höher die Produktionsgeschwindigkeit der Ausrüstung, desto niedriger sind die Kapitalinvestitionen und die Betriebskosten für die Linie (es werden weniger Linien und Bedienerpersonal benötigt).

DDC ermöglicht eine Steigerung der Produktionsrate um 10–30%.

Verfügbarkeit

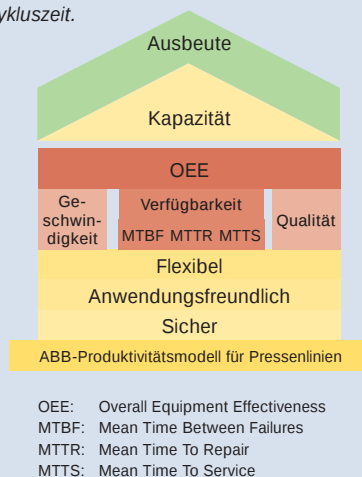
Produktionsmittel müssen so lange wie möglich fehlerfrei arbeiten.

Mit DDC entfallen Kupplungs- und Bremsprobleme, die zu den fünf häufigsten Ursachen für Ausfallzeiten gehören.

Qualität

Ausschussteile stellen einen direkten Verlust für den Betreiber dar. Um die Zahl der Ausschussteile zu reduzieren, muss ein reibungsloser und langsamer Stanzprozess gewährleistet werden.

DDC ermöglicht eine Reduzierung der Stanzgeschwindigkeit um bis zu 40% bei gleicher Zykluszeit.



Automobilindustrie interessant, die so von modernster Technologie profitieren und sich gleichzeitig auf bekannte und bewährte Produkte verlassen kann, die vom lokalen ABB-Service bereits unterstützt werden. Eine bedeutende Frage, die sowohl von Honda als auch von Gestamp aufgeworfen wurde, war die Frage nach den Auswirkungen des Servoantriebs und der Beschleunigung auf den Pressenmechanismus. Wie Iñaki Martinez (Stamping Technical Manager bei FAGOR) richtig sagt, ist mit der ABB-Servolösung ein viel sanfteres Beschleunigen und Abbremsen möglich als mit der Kupplung und Bremse, für die die derzeitigen Pressenmechanismen ausgelegt sind. Folglich wird die Lebensdauer der Presse durch den Servoantrieb verlängert. Tatsächlich treten die höchsten Beschleunigungskräfte auf das Gesenk nicht während der Steuerung durch den Servoantrieb oder beim eigentlichen Formen auf, sondern beim Anfahren der Presse aus dem Stillstand mithilfe der Kupplung. Zu erwähnen ist auch, dass bei der DDC-Version, in der das Schwungrad erhalten blieb, der Pressvorgang absolut unverändert bleibt, d. h. nach wie vor ausschließlich von der Dimensionierung

der Presse und des Schwungrads beeinflusst wird. Dabei gibt es keine unbekannten Größen oder Einstellungen. Die einzige Einstellung ist die Drehzahl des Schwungrads. Der Rest der Bewegung wird automatisch und dynamisch (daher der Name) von der Dynamic Drive Chain Technologie optimiert.

Die Pressen dürfen nicht stillstehen!

Die Botschaft von Daniel Eguia (Corporate Equipment Manager bei Gestamp) und Gerard Lallouette (Structure & Stamping Manager bei PSA) an ABB lautete: „Die Pressen dürfen nicht stillstehen!“ Heutige Pressenlinien weisen naturgemäß Ineffizienzen auf (Start- und Stoppbewegungen, Lücken und Wartezeiten), die mithilfe eines optimalen kontinuierlichen und adaptiven Bewegungssystems – sozusagen eines „dynamischen Antriebsstrangs“ beseitigt werden müssen. Das ABB DDC-System erreicht genau dies, indem es die Pressensteuerung und die Steuerung der Roboter integriert.

Die Zukunft

Der weltweit größte Pressenhersteller Schuler ist überzeugt, dass in naher Zukunft alle neuen Pressen Servopressen sein werden. Für ABB gilt dies

allerdings nicht nur im Hinblick auf neue Pressen. Der Trend von mechanisch zu elektrisch angetriebenen Systemen in der Pressindustrie hat gerade erst begonnen und wird sich auch nicht mehr umkehren. Mit der DDC-Technologie positioniert sich ABB als wichtiger Anbieter auf diesem neuen Markt und untermauert gleichzeitig ihre Wettbewerbsfähigkeit in den Bereichen Automatisierungstechnik, Motoren und Antriebe. Der erste DDC-Servopressenantrieb wird im Herbst dieses Jahres an einer FAGOR-Presse vom Typ 1200 T installiert, und sowohl FAGOR als auch ABB freuen sich darauf, die Servopresse ihren Kunden vorzustellen.

Die Nachrüstung der vorhandenen mechanischen Pressen mit Servomotoren ist jedoch nur der erste Schritt. Es wird erwartet, dass elektrisch angetriebene Pressen ihre mechanischen Vorgänger über kurz oder lang ablösen. In enger Zusammenarbeit mit Kunden wie Gestamp, Honda, Renault, PSA und Nissan ist ABB dabei, die Parameter der idealen Servopresse zu definieren. Durch Kooperationen mit Partnern wie FAGOR ist ABB in der Lage, den Antrieb an den zukünftigen Servopressen dieser und anderer Unternehmen auszurichten. Dadurch können Kosten gesenkt, die Technik vereinfacht und die Kontrollierbarkeit des Pressvorgangs verbessert werden. ABB wird die enge Zusammenarbeit mit Kunden und Pressenherstellern fortsetzen, um die zukünftigen Bedürfnisse und Anforderungen der Kunden besser abschätzen zu können und Technologien für kommende Generationen von automatisierten Pressenlinien zu entwickeln, die einen echten Mehrwert für ihren Pressenbetrieb bieten.

Sjoerd Bosga
 ABB Corporate Research
 Västerås, Schweden
 sjoerd.bosga@se.abb.com

Marc Segura
 ABB S.A., Press Automation
 Sant Quirze del Vallès, Spanien
 marc.segura@es.abb.com

Weniger ist mehr

Entwicklung eines schlanken Spezialroboters für Punktschweißaufgaben

Karin Dunberg

Viele Roboter, die an Fertigungslinien eingesetzt werden, sind so konzipiert, dass sie verschiedene Aufgaben ausführen können. Die Vorteile solcher Mehrzweckroboter liegen in der Standardisierung und Wiederverwendbarkeit.

In der Praxis sieht es jedoch so aus, dass viele dieser Roboter über ihre gesamte Lebensdauer hinweg nur für einen Zweck eingesetzt werden und viele Funktionalitäten somit ungenutzt bleiben. Das zusätzliche Gewicht und die Komplexität macht diese Roboter sperrig, ineffizient und teuer.

In Zusammenarbeit mit DaimlerChrysler hat ABB einen schlanken Roboter speziell für Punktschweißaufgaben entwickelt.

Automatisierung

Alles begann damit, dass sich DaimlerChrysler 2003 auf der Suche nach einem speziellen Punktschweißroboter an ABB wandte.

Das Ziel von DaimlerChrysler war die gemeinsame Entwicklung eines schlanken Standardroboters. Dieser sollte eine Tragkraft von 150 kg aufweisen und somit den Großteil der Punktschweißanwendungen bei DaimlerChrysler bewältigen können. Ferner sollte er über sechs Achsen verfügen und in der Lage sein, eine Reihe von Punktschweißaufgaben mithilfe einer einzigen servogesteuerten Schweißzange auszuführen.

Beim Semi-Shelf-Layout kann eine zweite Ebene von Robotern an der Fertigungslinie angeordnet werden, die von unten schweißen.

„Wir brauchten ein Arbeitspferd für unsere zentralen Punktschweißanwendungen“, so Anton Hirzle, Senior Manager bei DaimlerChrysler. „Heute verwenden wir für die meisten unserer Anwendungen Standardroboter. Diese können schweißen, kleben, Teile handhaben – alles, was man möchte. Doch wir müssen für viele Funktionen bezahlen, die wir beim Punktschweißen gar nicht benötigen. Um Kosten zu sparen, wollten wir einen Roboter, der speziell fürs Punktschweißen ausgelegt ist.“

Mit ca. 9.000 eingesetzten Robotern bei Mercedes und rund 5.000 Robotern

„Wir wollten einen Roboter speziell für Punktschweißaufgaben.“ Anton Hirzle, Senior Manager bei DaimlerChrysler



bei Chrysler in den USA gehört DaimlerChrysler zu den größten Nutzern von Robotertechnik.

Mit seinen Vorstellungen und Ideen wandte sich das Unternehmen an verschiedene Roboteranbieter, bis 2004 schließlich ein gemeinsames F&E-Projekt mit ABB ins Leben gerufen wurde. Statt neue Funktionen hinzuzufügen, konzentrierte sich das Projekt darauf, Merkmale zu entfernen, die fürs Punktschweißen nicht erforderlich waren. Optimierung durch Vereinfachung lautete das Ziel.

Nach fast drei Jahren war der IRB 6620 – ein leichter Roboter mit einem großen Arbeitsbereich – fertiggestellt. Nicht weniger als 800 kg konnten gegenüber dem ursprünglichen Modell an Gewicht eingespart werden. Das Ergebnis ist nicht nur eine schlankere Stahlkonstruktion, sondern auch ein Roboter, der agiler und leichter zu handhaben ist.

Er besitzt eine Tragkraft von 150 kg und ein robustes Handgelenk, das für typische Punktschweißzangen mit integriertem Transformator geeignet ist. Der Werkzeugflansch entspricht der ISO-Norm für 200 kg. Außerdem ist der Roboter mit einem speziell für Punktschweißanwendungen konzipierten Leitungspaket (Dresspack) ausgestattet.

Der IRB 6620 ist einfacher zu installieren und zeichnet sich durch geringere Investitionskosten und einen großen Arbeitsbereich aus. Besonders der Arbeitsbereich unterhalb der Basis bietet interessante Möglichkeiten für neue Zellenkonfigurationen. Beim sogenannten Semi-Shelf-Layout kann eine zweite Ebene von Robotern an der Fertigungslinie angeordnet werden, die von unten schweißen. Das spart Platz und ermöglicht eine effizientere Integration der Roboter in die Arbeitszelle und somit eine höhere Produktivität.

Das langfristige Ziel von ABB ist es, die meisten Mehrzweckroboter, die heute für Punktschweißaufgaben eingesetzt werden, durch den schlanken und flexiblen IRB 6620 zu ersetzen.

Infobox Die DaimlerChrysler Gruppe

Die DaimlerChrysler-Gruppe blickt auf eine über 100-jährige Tradition im Fahrzeugbau zurück, die durch eine Vielzahl von Pionierleistungen gekennzeichnet ist. Heute gehört das Unternehmen zu den führenden Herstellern von Pkw der Oberklasse, SUVs, Sport- und Reisewagen, Minivans und Pickups und ist außerdem der weltweit größte Hersteller von Nutzfahrzeugen. Der Gesamtumsatz des Unternehmens im Jahr 2006 betrug über 150 Mrd. EUR.

Karin Dunberg
ABB Robotics AB
Västerås, Schweden
karin.dunberg@se.abb.com

Siehe auch

Negre, B., Legeleux, F.: „FlexLean – Roboter im Wettbewerb mit Niedriglohnarbeit“, ABB Technik 4/2006, S. 6–10 (insbesondere Infobox auf S. 8)

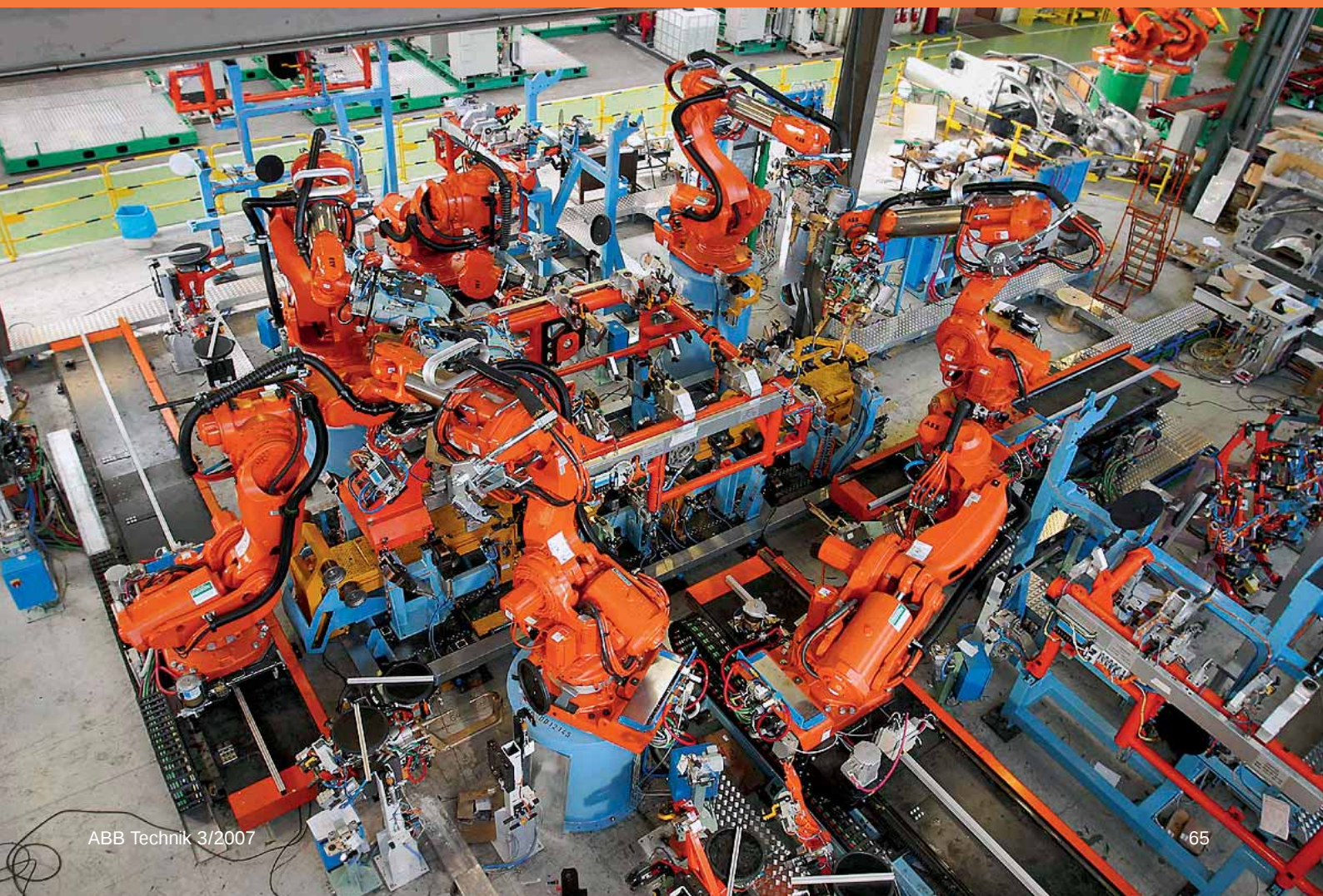
Roboterspezialisten

IRB 6620 – der schlanke Roboter für Punktschweißaufgaben

Ola Svanström

Roboter sind wahre Multitalente. Sie können verschiedenste Aufgaben mit hoher Präzision, Geschwindigkeit und großer Kraft ausführen. Geht es darum, nur eine einzige spezielle Aufgabe auszuführen, ist es sinnvoll, eine maßgeschneiderte Version eines solchen Mehrzweckroboters einzusetzen.

Der FlexPicker von ABB ist ein Beispiel für einen solchen Spezialroboter. Er ist in der Lage, verschiedene Produkte mit sehr hoher Geschwindigkeit zu sortieren. Ein weiterer Bereich, in dem solche „Spezialisten“ gefragt sind, ist das Punktschweißen in der Automobilindustrie.



Automatisierung

Moderne Fertigungslinien in der Automobilindustrie sind ein typisches Einsatzgebiet von Robotern. Die meisten dieser Roboter sind nach dem gleichen bekannten Prinzip aufgebaut: ein langer Arm mit einer „Hand“, der sich nach vorn und hinten bewegen und wie bei einem Golfschwung um sich selbst drehen kann.

Doch es gibt noch andere mechanische Bewegungssysteme, die man normalerweise nicht als „Roboter“ bezeichnen würde, auch wenn sie ähnlich arbeiten wie ihre bekannteren Artgenossen. Diese Roboter können schweißen, greifen, bewegen, heben, sortieren, lackieren, schleifen oder Autoteile zusammenhalten, um weiteren Robotern die optimale Ausführung ihrer Aufgaben zu erleichtern.

Für Automobilhersteller ist der Einsatz von Mehrzweckrobotern sinnvoll, da sie ohne große Umbauten für viele verschiedene Aufgaben verwendet werden können.

Betrachtet man die Roboter, die zum Zusammenfügen von Autoteilen verwendet werden, so zeigt sich, dass die meisten von ihnen zum thermischen Schweißen eingesetzt werden ¹. Das thermische Schweißen kann mithilfe unterschiedlicher Verfahren erfolgen: herkömmliches Punktschweißen, Laserschweißen, Laserlöten oder Rührreißschweißen (FSW)². Für jedes dieser Verfahren kann derselbe Roboter eingesetzt werden.

Man geht davon aus, dass das thermische Schweißen im Vergleich zu mechanischen und chemischen Methoden auch in 10 Jahren noch das vorherrschende Fügeverfahren sein wird. Angesichts dieser Entwicklung und der zunehmenden Forderung seitens der Automobilindustrie nach mehr Flexibilität und niedrigeren Kosten erscheint es nur sinnvoll, das Aufgebot von Robotern in einer Fertigungslinie durch spezielle Schweißroboter zu komplettieren.

² zeigt den neuen „Spezialisten“ von ABB für Punktschweißanwendungen, den IRB 6620, zusammen mit dem Mehrzweck-Industrieroboter IRB 6600. Der innovative IRB 6620 ist wesentlich leichter als sein „großer Bruder“ und somit besser für Punktschweißaufgaben geeignet². Durch seine kompakte Bau-

form spart der IRB 6620 wertvollen Platz an der Fertigungsline, der für einen zweiten Schweißroboter genutzt werden kann. Dieser kann von der Decke hängend oder auf einer zweiten Arbeitsebene in Bezug auf die sich bewegende Fahrzeugkarosserie montiert werden. Dank seiner Agilität ist der IRB 6620 sogar in der Lage, unter einen Fahrzeugrahmen zu reichen, um an schwer zugänglichen Stellen zu schweißen.

ABB hat vor Kurzem Robotersteuerungen entwickelt, die eine koordinierte Bewegung mehrerer Roboter und somit das gleichzeitige Arbeiten an einem Werkstück ermöglichen ^{Infobox 1}. Ist der neue agile Schweißroboter mit einem solchen System verbunden, können andere Roboter das Werkstück zum Schweißen positionieren. So lässt sich die etwas geringere Reichweite des IRB 6620 im Vergleich zum IRB 6600 kompensieren.

Dank der flexiblen Montagemöglichkeiten können mehrere Schweißroboter gleichzeitig an einer Karosserie arbeiten. Dabei können sie sogar unter das Auto und in das Auto hineinreichen, ohne sich gegenseitig zu stören. Die

¹ Punktschweißroboter im Automobilbau



ABB-Robotersteuerung sorgt dabei stets für einen sicheren, kollisionsfreien Bewegungsablauf.

Während sich die Spezialroboter um die Karosserie herumbewegen und mit hoher Geschwindigkeit an allen Ecken schweißen, kann sich der Mehrzweckroboter IRB 6600 auf verschiedene andere Aufgaben konzentrieren. Diese

Infobox 1 MultiMove

MultiMove ist eine in die ABB-Robotersteuerung IRC5 integrierte Funktion, die die Synchronisation von bis zu vier verschiedenen Robotern bzw. Werkstückpositionierern ermöglicht. Das bedeutet, die Funktion ist in der Lage, bis zu 36 Servoachsen zu berechnen. Ohne eine solche Synchronisation müsste ein Positionierer ein Werkstück zuerst in die gewünschte Position bringen und anhalten, bevor sich ein Schweißroboter dem Werkstück nähern, schweißen und sich dann wieder zurückziehen kann. Erst wenn der Roboter zum Stillstand gekommen ist, kann der Positionierer das Werkstück umdrehen, damit der Roboter die andere Seite bearbeiten kann. Mithilfe von MultiMove kann viel Zeit eingespart werden, indem viele dieser Bewegungen gleichzeitig ablaufen. So kann sich der Schweißroboter zum Beispiel dem Werkstück nähern, während der Positionierer es dem Roboter „anreicht“, und der Positionierer kann das Werkstück langsam drehen, während der Roboter schweißt. Die daraus resultierende durchgängige Schweißnaht trägt zu einer besseren Qualität des Endprodukts bei. Darüber hinaus kann die Funktion auch ver-

wendet werden, um mehrere Schweißroboter gleichzeitig zu koordinieren. Die daraus erzielte Zeitersparnis ermöglicht kürzere Zykluszeiten und einen höheren Durchsatz.

Siehe auch: Bredin, C.: „Teamwork – Die MultiMove-Funktionalität von ABB setzt neue Maßstäbe in der Robotersteuerung“, ABB Technik 1/2005, S. 26–29



2 Der IRB 6620 **a** und sein „großer Bruder“, der IRB 6600 **b**



Kombination aus Multitalenten und Spezialisten ebnet den Weg für völlig neue Fertigungskonzepte. So werden Ausschweißlinien³⁾ zum Beispiel kürzer und schneller, wenn acht Roboter gleichzeitig an einer Karosserie arbeiten.

Die Montage von Dach- und Seitenteilen wird flexibler und schneller, wenn Punkschweißroboter und leistungsstar-

ke Mehrzweckroboter sich gegenseitig helfen. Dieses Plus an Flexibilität kommt der Automobilindustrie entgegen, denn es unterstützt den Trend zur Fertigung mehrerer Fahrzeugmodelle auf ein und derselben Linie. Dadurch wird nicht nur der Prozess beschleunigt, sondern auch eine optimale Nutzung der wertvollen Betriebsmittel innerhalb der Fertigungsline ermöglicht. Eine

3 Ein FlexPicker beim Verpacken von Fleisch



moderne Fertigungsline kann ohne „Spezialisten“, die die Mehrzweckroboter unterstützen, nicht effektiv arbeiten.

ABB hat solche Spezialroboter für sehr unterschiedliche Anwendungen entwickelt. Der FlexPicker **3** ist zum Beispiel ein System mit drei extrem leichten Armen und einem Greifer, das sich zum Verpacken von leichten Objekten wie Schokoladenstücken oder Pralinen in Schachteln eignet **Infobox 2**. Auch wenn der IRB 6600 beim Sortieren mehr Funktionen bietet, wäre er zu langsam für diese Aufgabe.

Der Einsatz von Spezialrobotern findet in der Industrie zunehmend Verbreitung. Wenn es um die Massenfertigung von Teilen geht, ist ein Spezialroboter häufig die flexiblere und wirtschaftlichere Lösung.

Ola Svanstrom
ABB Robotics
Västerås, Schweden
ola.svanstrom@ch.se.abb.com

Infobox 2 FlexPicker

Der ABB FlexPicker ist ein sogenannter Parallelkinematik-Roboter. Im Gegensatz zu herkömmlichen Industrierobotern, bei denen die Gelenke hintereinander an einem Arm angeordnet sind **2**, besitzt ein Parallelkinematik-Roboter drei oder mehr parallele Arme, die eine Handhabungseinrichtung halten **3**.

Sämtliche Motoren und Getriebe des FlexPickers sind in seinem Sockel untergebracht. Dadurch sind die bewegten Teile sehr leicht und der Roboter äußerst agil, was Beschleunigungen von über 10 g und Handhabungsraten von über 120 Aufnahmen pro Minute ermöglicht.

Der Roboter wurde für hohe Hygieneanforderungen konzipiert und kann ohne Reinigungsmittel mit Wasser unter niedrigem Druck gereinigt werden. Somit ist er ideal für die Handhabung von Lebensmitteln geeignet.

Die Conveyor-Tracking-Funktionalität der IRC5-Robotersteuerung ermöglicht dem FlexPicker das Aufnehmen und Ablegen von

Objekten auf einem laufenden Förderband, womit ein zeitaufwändiges Anhalten und Anlaufen des Bands für jedes Objekt entfällt. Mithilfe der PickMaster-Software ist der Roboter zudem in der Lage, auch unregelmäßig angeordnete und geformte Objekte, wie sie in der Lebensmittelindustrie häufig vorkommen, zu erkennen und aufzunehmen.

Siehe auch: Andersson, H. J.: „Picking pizza picker – ABB FlexPicker robots demonstrate their speed and agility packing pizzas“, ABB Review Special Report Robotics, März 2005, S. 31–34.



Fußnoten

¹⁾ Beim Rührreischweißen wird der Kopf eines rotierenden Stifts an der Schweißnaht entlangbewegt, wobei die Teile durch die entstehende Reibungswärme und den Einspanndruck zusammengefügt werden, ohne dass das Metall schmilzt. Dieses Verfahren wird vornehmlich für Aluminium eingesetzt.

²⁾ Siehe auch „Weniger ist mehr“ auf Seite 63 dieses Hefts.

³⁾ Als Ausschweißen wird das Aufbringen der endgültigen Schweißnaht bezeichnet, nachdem die Teile durch den ersten Schweißvorgang lediglich zusammengehalten werden.

Antriebsfaktoren

Wie Kunden die Feinjustierung eines integrierten Antriebsüberwachungssystems mitgestalten

Michał Orkisz, Jarosław Nowak, Maciej Wnek

Wenn die Betriebsmittel in einer Fabrik unerwartet ausfallen, kommt die Produktion zum Stillstand. Die Folge sind teure Ausfallzeiten, während die Ausrüstung repariert wird. Mithilfe der bewährten Zustandsüberwachungssysteme (Condition Monitoring Systems, CMSs) von ABB zur kontinuierlichen Verfolgung der Historie von Betriebsmitteln (d. h. Betriebszustände, Verschleiß, Schäden und Wartung) lassen sich solche Störungen der Produktion verhindern und ernsthafte wirtschaftliche Folgen für das Unternehmen abwenden.

Ein Beispiel für ein solches CMS ist das Antriebsüberwachungssystem von ABB. Da kritische Ausrüstungen häufig mit elektrischen Antrieben betrieben werden, ist ihre kontinuierliche Wartung ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Antriebe wie die Mittelspannungs-Frequenz-

umrichter von ABB dienen zusätzlich als umfangreiche Datenbanken, die nicht nur Daten vom Stromrichter, sondern auch von den angetriebenen Betriebsmitteln und dem gesamten nachgeschalteten Produktionsprozess aufzeichnen. Aufgrund der Bedeutung von elektrischen Antrieben ist ein zuverlässiges und intelligentes CMS äußerst wünschenswert. Hierzu sind jedoch detaillierte Kenntnisse der Betriebsmittel sowie die Analyse des betrieblichen Kontexts, der Anwendungsanforderungen und von Referenzdaten erforderlich. Da sich diese Informationen nur im praktischen Einsatz gewinnen lassen, ist eine enge Zusammenarbeit mit Kunden erforderlich. Im Falle des Antriebsüberwachungssystems arbeitete ABB mit verschiedenen Kunden zusammen, um das System unter realen industriellen Bedingungen zu testen. Zwei Beispiele sollen im Folgenden näher betrachtet werden.

Zurzeit entsteht in den Schweizer Alpen einer der längsten Tunnel der Welt. Die neue Eisenbahnverbindung unter dem St. Gotthard-Pass wird nach ihrer geplanten Fertigstellung im Jahr 2016 eine Länge von über 57 km haben und insgesamt 153,7 km Tunnel, Schächte und Stollen umfassen.

Für den Bau des Tunnels wurde nahe des Bergdorfes Sedrun ein 821 m tiefer Schacht ausgehoben, durch den mit einer großen Fördermaschine Abraum zutage gefördert wird. Der leistungsstarke ABB ACS 6000 Frequenzumrichter, der den Motor dieser Maschine antreibt, dient als einer der ersten Pilotanwendungen für das neue Antriebsüberwachungssystem. Nachdem das CMS bereits im Labor sorgfältig getestet wurde, stand noch die Prüfung unter realen industriellen Bedingungen mit Staub, Erschütterungen und Temperaturschwankungen aus. Außerdem mussten noch echte Daten aus einer realen Anwendung gesammelt werden, wofür die Tunnelbaustelle die idealen Bedingungen bot.

Die Pilotinstallation half bei der Optimierung der Hardware und ermöglichte die Evaluierung der Performance, Datenspeicherkapazität und der thermischen Anforderungen der Überwachungseinheit der Fördermaschine. Nur mithilfe einer realen Anwendung und einem zyklischen Prozess konnten die durchschnittliche Datenaufnahme und Verarbeitungsgeschwindigkeit analysiert und somit die Installationskosten des CMS für zukünftige Kunden minimiert werden.

Der Pilot diente außerdem als Feldversuch für die Remote-Verbindung mit dem System unter realistischen, wenn auch etwas ungewöhnlichen (da unterirdischen) Bedingungen. Um eine stabile Remote-Verbindung und einen sicheren VPN-Datenzugriff zwischen dem Kundenstandort und ABB sicherzustellen, war ebenfalls eine enge Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten erforderlich.

Der Einsatz in einer industriellen Umgebung zeigt auch, ob die Diagnoseverfahren richtig definiert sind. Ob das System erwartungsgemäß auf die Veränderungen reagiert oder wie sich das ursprüngliche Design noch verbessern lässt, um die Wertschöpfung, Robustheit und Wirksamkeit des Systems noch weiter zu erhöhen, kann vom Entwicklungsteam allein nicht beantwortet werden.

Dabei bietet eine Pilotanwendung beim Kunden Vorteile für beide Seiten. Beim Test des Antriebsüberwachungssystems beobachteten die Experten von ABB sorgfältig den Zustand des Antriebs der Fördereinrichtung, während dieser gleichzeitig vom CMS automatisch überwacht wurde. Dafür hatte ABB die Möglichkeit, ein neues Produkt zu testen, nachzubessern und abzustimmen, das in vielen Anwendungen eingesetzt werden soll.

Die einjährige Testphase auf der Tunnelbaustelle bestätigte die Robustheit und Wirksamkeit des Antriebsüberwachungssystems. Das CMS funktionierte fehlerlos, sodass ABB zuver-

sichtlich von einem gereiften Produkt ausgehen konnte.

Reibungslose Fahrt auf See

Stellen wir uns einen Double-Acting-Tanker vor, der mit 120.000 m³ Rohöl an Bord rückwärts durch das Eis des Bottnischen Meerbusens bricht, oder ein Luxuskreuzfahrtschiff mit über 1.300 Besatzungsmitgliedern, das 2.500 Passagiere auf eine Traumreise zu exotischen Zielen mitnimmt.

Diese ansonsten sehr unterschiedlichen Schiffe haben eines gemeinsam: Sie nutzen moderne Technik, die Innovation mit einem hohen Maß an Sicherheit im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Störanfälligkeit kombiniert. Wichtig beim Betrieb dieser Schiffe sind nicht nur die wirtschaftlichen Kosten, sondern auch die Sicherheit von Mensch und Umwelt.

Beide Schiffe verfügen über den von ABB Marine entwickelten Azipod®-Antrieb, der sich durch seine hohe Manövrierfähigkeit, Funktionalität und Effizienz auszeichnet. ABB Marine in Helsinki, Finnland, gehört zu den führenden Anbietern von Schiffsantrieben und hat ein Antriebsüberwachungssystem entwickelt (Propulsion Condition Management System, PCMS), das nicht nur die Azipod®-Einheit, sondern auch die Frequenzumrichter, Transformatoren, Schaltanlagen, Generatoren, Steuerungen, Automatisierungstechnik usw. umfasst. Eine bedeutende Rolle für die Weiterentwicklung des PCMS spielte die Zusammenarbeit mit Royal Caribbean Cruises Ltd., in deren Schiffen ein Teil des Systems getestet wurde.

Wellenlagerdiagnose

Eine der kritischsten Komponenten für die Performance des gesamten Azipod®-Systems ist das Wellenlager oder genauer gesagt eine Reihe von Lagern, die auf einer kurzen Motorwelle angeordnet sind, die den Propeller antreibt. Aufgrund der extremen dynamischen

Lüftungstunnel bei Sedrun. © AlpTransit Gotthard AG



Automatisierung

Belastung vom Propeller können diese Lager verschleifen. Zur frühzeitigen Erkennung solcher Wälzkörperschäden entwickelte ABB einen neuen Diagnosealgorithmus (Bearing Asset Monitor) als Teil des DriveMonitor™-Systems.

Bei einer frühzeitigen Erkennung solcher Lagerfehler und einer ausreichend präzisen Vorhersage der verbleibenden Lebensdauer lassen sich Werftaufenthalte besser planen, die Kosten niedrig halten und der Einsatz des Schiffs entsprechend planen. Das Hauptziel bei der Umsetzung dieser prädiktiven Wartungsstrategie bestand in der Entwicklung und Anwendung spezieller Diagnoseverfahren, die Lagerprobleme frühzeitig anzeigen und den Kunden so vor wirtschaftlichem Schaden bewahren. Außerdem galt es, das Steuerungssystem für den Azipod®-Antrieb mit entsprechenden Diagnosekomponenten auszustatten, um dem Kunden eine Vielzahl von Steuerungs-, Überwachungs- und Diagnosefunktion zu bieten.

Im Rahmen mehrerer kurzzeitiger Pilotinstallationen auf verschiedenen Schiffen bei unterschiedlichen

Betriebsbedingungen wurden umfangreiche Vibrationsdaten gesammelt und zur Feinabstimmung der Diagnosealgorithmen verwendet, um deren Zuverlässigkeit und Immunität gegen Fehlalarme zu erhöhen. Bei dieser Implementierung im realen Umfeld wurden „echte“ Daten gewonnen, die zur Verbesserung der Lagerüberwachungskomponente des PCMS eingesetzt werden können.

Da Royal Caribbean volles Vertrauen in die Kompetenz von ABB hatte und die Verbesserung des PCMS unterstützte, wurde das endgültige System in einem der großen Kreuzfahrtschiffe von Royal Caribbean implementiert. Dabei wurden Vibrationsrohdaten, die Drehzahl der Hauptwelle und der Azimutwinkel über einen Zeitraum von fast einem Jahr periodisch aufgezeichnet und ausgewertet.

Das eigentliche Systemkonzept war zwar recht geradlinig, erforderte jedoch einige fortschrittliche Verfahren. Die Vibrationen am Lagergehäuse wurden mit einer für industrielle Umgebungen ausgelegten, PC-basierten Datenerfassungseinheit aufgezeichnet, die innerhalb des Azipod® unterge-

bracht war. Die Daten wurden im binären Format als Datenvektoren erfasst und über eine kabellose Ethernet-Verbindung zum Diagnoseserver im Kontrollraum des Schiffs übertragen und mithilfe bewährter Hochfrequenz-Demodulations-Verfahren und neu entwickelter Algorithmen zur frühzeitigen Erkennung von Schlägen auf die Lager verarbeitet. Der gesamte Zyklus für den Datenfluss von den Messungen bis hin zu den Berechnungen wurde in regelmäßigen Abständen automatisch ausgelöst.

Während seines Einsatzes konnte das automatische Fehlererkennungsmodul keine Anzeichen für Schäden in den Lagern erkennen. Doch die regelmäßige Analyse der Vibrationsspektren lieferte zusätzliche Informationen über die Performance des Azipod®. So erwies sich das eindeutige Vorhandensein bestimmter Oberschwingungen, die ihren Ursprung im elektrischen und mechanischen Design haben, zwar als unbedenklich, brachte aber zusätzliche Erkenntnisse über das Verhalten des Systems. Solche Erkenntnisse liefern wertvolle Informationen für die Konstruktion der Wellenlager.

Zwingend notwendig war auch die Möglichkeit für ABB, aus der Ferne auf das Diagnosesystem an Bord des Schiffs zuzugreifen. Mithilfe des IT-Personals von Royal Caribbean wurde eine VRN-gesicherte Satellitenverbindung für den Zugriff auf den Diagnoseserver eingerichtet **1**. So konnte das Personal an Land die neuesten Berechnungen einsehen und die erforderlichen Daten herunterladen, um die Performance des Systems zu überprüfen. Darüber hinaus übermittelten die Techniker an Bord des Schiffs in regelmäßigen Abständen größere Mengen von Vibrationsrohdaten auf CD zur weiteren Analyse an ABB.

Entwicklung des integrierten PCMS
Die Diagnose der Hauptwellenlager ist zwar von zentraler Bedeutung, deckt aber nur einen kleinen Teil des gesamten Antriebssystems ab. Dieses umfasst eine Vielzahl von ABB-Komponenten einschließlich Schaltanlagen, Schutzrelais, Mittelspannungsfrequenzumrichter, Motoren, Transformatoren und Steuerungseinheiten so-

1 Konzept für den Fernzugriff auf ein PCMS an Bord eines Schiffs **a** über eine durch VPN-Tunneling gesicherte und über eine Satellitenverbindung **c**, implementierte Verbindung zum Netzwerk des Schiffsbetreibers **b** zur Überwachung des AZIPOD-Antriebs vom ABB Servicestützpunkt **d** aus.



wie Drittanbieterprodukte wie hydraulische Schiffssteuerungs- und Kühlsysteme. Für jede dieser Komponenten sind bereits Hunderte verschiedener physikalischer Messungen definiert, die zum Teil zu Steuerungszwecken, hauptsächlich aber zur Visualisierung auf den Bedientafeln genutzt werden. Diese beinhalten nicht nur direkte Informationen über den Zustand des Geräts, an dem die jeweilige Messung vorgenommen wird, sondern auch verstecktes Wissen über die anderen am Prozess beteiligten Komponenten.

Die wahre Herausforderung besteht darin, ein Zustandsüberwachungssystem bereitzustellen, das alle verfügbaren Informationen integriert und ein einfaches Engineering von Diagnosebeziehungen zwischen Signalen ermöglicht. Mit einem solchen System kann die zeitaufwändige und fehleranfällige Entwicklung spezieller Diagnosesoftware für bestimmte Anwendungen entfallen. Das Ergebnis ist ein Konzept mit einem Tabellenformat zur Definition der Art, Zeit und Häufigkeit der Datenerfassung sowie der erforderlichen Berechnungen, das klare und konsistente Informationen über den Zustand einer bestimmten Teilkomponente des Systems liefert.

Die technische Vision eines solchen Systems passt optimal zur Servicestrategie von ABB Marine und dem Bedarf seitens der Kunden für ein integriertes Zustandsüberwachungstool zur Unterstützung ihrer Techniker. So kann der Kunde entweder lokal oder

Fördereinrichtung in Sedrun. © AlpTransit Gotthard AG



aus der Ferne sowohl auf konsistente Informationen über die Zustände seiner Betriebsmittel als auch auf das Historienprotokoll zu den Betriebsbedingungen des Antriebssystems zugreifen. Zur Pflege des PCMS können zusätzlich individuelle Servicevereinbarungen mit ABB getroffen werden.

Implementierung eines integrierten PCMS

Sowohl das Zustandsüberwachungssystem für die Mittelspannungs-Frequenzumrichter im St. Gotthard-Tunnel als auch der Asset-Monitor für die Lager an Bord des Kreuzfahrtschiffs basieren auf der ABB DriveMonitor™-Plattform. Da die im Tunnel und im Schiffsantriebssystem verwendeten Frequenzumrichter nahezu identisch sind, lag es auf der Hand, die im Tunnelbau gewonnenen Erfahrungen zu nutzen und auf See anzuwenden.

Durch ständige Verbesserungen, die durch die Erfahrungen aus solchen Praxistests ermöglicht werden, wird das PCMS in Zukunft in der Lage sein, Daten von allen Teilkomponenten des Antriebssystems zu erfassen und zu kommunizieren. Die meisten Signale werden an die IndustrialIT Automatisierungsplattform System 800xA übergeben. Fehler, Alarmer und Rohdaten – von den Schutzrelais über die Generatoren und Transformatoren bis hin zur Steuerung, Dichtung und Kühlung des Azipod® – werden in das PCMS impor-

tiert. Die Zahl der Parameter, Signale, Ereignisse und Alarmer vom Frequenzumrichter wird kontinuierlich überwacht. Darüber hinaus können Zustandsüberwachungsgeräte von Drittanbietern verwendet werden, um zusätzliche präzise Informationen über den Zustand eines bestimmten Betriebsmittels zu erhalten. Bei einer Störung des Azipod® ist es wichtig, die momentanen äußeren Bedingungen (Geschwindigkeit und Kurs des Schiffs, Windgeschwindigkeit und Seegang) bestimmen zu können. Und schließlich muss der Fernzugriff von Land auf den PCMS-Hauptserver im Elektrikraum des Schiffs gewährleistet sein.

Diese Systeme unter realen Bedingungen zu testen, ist der einzig sichere Weg zu einem vollständig entwickelten PCMS. Echte Daten aus realen Einsatzumgebungen ermöglichen es ABB, dauerhafte Produkte mit einer Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten zu entwickeln. Dies wäre nicht möglich ohne die Zusammenarbeit mit Kunden.

Michał Orkisz
Jarosław Nowak
Maciej Wnek
ABB Corporate Research
Kraków, Polen
michal.orkisz@pl.abb.com
jaroslaw.nowak@pl.abb.com
maciej.wnek@pl.abb.com

Infobox Royal Caribbean Cruises Ltd.

Die Royal Caribbean Cruises Ltd. wurde 1969 von drei norwegischen Reedereien gegründet. Das erste Kreuzfahrtschiff der Royal Caribbean wurde 1970 in den Dienst gestellt. Heute umfasst die Flotte 20 Schiffe mit einer Kapazität von über 47.000 Personen. Die „Song of Norway“ war das erste Passagierschiff das „gestreckt“ wurde, indem das Schiff in der Mitte auseinandergetrennt und um ein knapp 26 m langes Stück ergänzt wurde. Der Jahresgewinn des Unternehmens liegt bei über 700 Mio. USD.

www.royalcaribbean.com
(Stand Juni 2007)

Integrated Operations

Der Weg zum Ölunternehmen der Zukunft
Svein Vatland, Paula Doyle, Trond Michael Andersen

Ein von ABB geleitetes Forschungs- und Entwicklungskonsortium unterstützt Statoil bei der Entwicklung von Technologien und Arbeitsprozessen, die es einem der weltweit führenden Öl- und Gasunternehmen ermöglichen sollen, nahtlos und in Echtzeit über organisatorische und geografische Grenzen hinweg zu operieren und sicherere, bessere und schnellere Entscheidungen zu treffen.

Ziel des Projekts mit dem Namen „TAIL – Integrated Operations“ ist die Steigerung der täglichen Fördermenge um 5–10 % bei gleichzeitiger Senkung der Betriebs- und Instandhaltungskosten um 30 % und die Reduzierung von unerwünschten Vorfällen im Bereich Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz um die Hälfte. Außerdem sollen die erforderlichen Technologien, Prozesse und das Know-how entwickelt werden, um die Produktionsdauer der Öl- und Gasfelder von Statoil zu verlängern.

Im April 2006 veröffentlichte der norwegische Verband der Ölindustrie (Oljeindustriens Landsforening, OLF) einen Bericht über den „potenziellen Wert von Integrated Operations auf dem Norwegischen Schelf“ [1]. Dieser besagt, dass die auf dem Norwegischen Schelf tätigen Öl- und Gasunternehmen ihre Erträge vom Schelf durch eine rasche Integration ihrer Betriebsabläufe um 41,5 Mrd. USD steigern könnten. Ohne diese Integration müssten sie allein in den kommenden drei Jahren mit Ertrags-einbußen von 10 Mrd. USD rechnen.

Diese enormen Zahlen sind jedoch mit einer Reihe von Herausforderungen für die Branche verbunden und spiegeln die Größenordnung wider, um die es hier geht. Auch wenn die vorgeschlagene Lösung für diese Herausforderungen unterschiedliche Namen trägt – Integrated Operations (Statoil), eOperations (Hydro) Smart Field (Shell), Field of the Future (BP) und i-field (Chevron) – sind die entscheidenden Elemente weitgehend dieselben: die umfassende Nutzung fortschrittlicher Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)

und Echtzeitdaten, die Einführung neuer Arbeitsprozesse in Verbindung mit dem Zugriff auf diese Daten in Echtzeit sowie organisatorische Veränderungen, insbesondere die Verlagerung von Funktionen und Personal von kostspieligen Offshore-Standorten zu befestigten Standorten an Land.

Durch die Integration ihrer Prozesse auf dem Norwegischen Schelf, so das Fazit des Berichts, können die Öl- und Gasunternehmen ihre Produktion beschleunigen und steigern, ihre Betriebskosten senken, die Sicherheit verbessern und die Förderdauer ihrer Ölfelder verlängern.

Unter der Leitung von ABB

Statoil **Infobox 3** definiert Integrated Operations (IO) als „Zusammenarbeit auf der Basis von Echtzeitdaten und neuen Arbeitsprozessen über Fachbereiche, Unternehmen sowie organisatorische und geografische Grenzen hinweg, um sicherere und bessere Entscheidungen schneller treffen zu können“. Um die zur Realisierung von IO erforderlichen Methoden, Technologien und Arbeitsprozesse zu bestimmen, bat Statoil ABB **Infobox 2**, die Leitung eines F&E-Konsortiums zu übernehmen, zu dessen Mitgliedern IBM, SKF und Aker Kvaerner gehören **Infobox 1**.

Das Projekt mit dem Namen „TAIL – Integrated Operations“ (kurz TAIL-IO) wurde im Januar 2006 mit folgenden Zielsetzungen ins Leben gerufen:

- Steigerung der Tagesproduktion um mindestens 5% durch Senkung der Produktionsverluste aufgrund von Betriebsausfällen, Wartungsstillständen und unzureichender Anlagenperformance
- Senkung der Betriebs-, Bau- und Instandhaltungskosten um 30%
- Reduzierung unerwünschter Vorfälle im Bereich Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz um 50%
- Verlängerung der Förderdauer der Öl- und Gasfelder von Statoil

Das Konsortium und Statoil leisten jeweils den gleichen Anteil an Input und Ressourcen für das Projekt. Außerdem trägt der norwegische Forschungsrat zur Finanzierung des Budgets in Höhe von 24 Mio. USD über einen Zeitraum von 3,5 Jahren bei.

Die umfangreiche Infrastruktur von Statoil Statoil produziert täglich 1,1 Mio. Barrel Öleinheiten (BOE) und ist weltweit der drittgrößte Nettoverkäufer von Rohöl. Das Unternehmen betreibt 25 Offshore-Anlagen, rund 6.000 km Pipelines sowie Onshore-Anlagen und -Terminals in fünf europäischen Ländern rund um die Nordsee **1**. Außerdem gehört Statoil zu den umweltverträglichsten Produzenten und Transporteuren von Öl und Gas und wird im weltweiten Dow Jones Nachhaltigkeitsindex regelmäßig als bestes Öl- und Gasunternehmen bewertet.

Die Umsetzung von IO über alle diese Anlagen hinweg erfordert sowohl kurz- als auch langfristige Strategien. Kurzfristig liegt der Schwerpunkt auf der Realisierung von Verbesserungen im täglichen Betrieb und in der In-

standhaltung. Hierzu gehören der Aufbau von Supportzentren an Land, die Verbesserung bestehender Arbeitsprozesse, die Schulung des Personals für IO sowie die grenzübergreifende Kooperation und die Investition in IKT, um eine Zusammenarbeit in Echtzeit zu ermöglichen. Eine bedeutende Komponente dieses Prozesses ist die Einbindung von Lieferanten und externen Ressourcen zur Unterstützung der Anlageninstandhaltung und des Anlagenbetriebs. Langfristig sind Investitionen in neue Technologien, Arbeitsprozesse und Know-how erforderlich, um eine erfolgreiche Umwandlung in ein IO-Unternehmen zu gewährleisten.

Bei der Realisierung seiner kurz- und langfristigen Ziele ist Statoil stark auf Vertragspartner und Lieferanten aus der gesamten Wertschöpfungskette angewiesen. Beim traditionellen F&E-Modell zum Asset Management werden Zulieferer und externe Kompetenz nur selten optimal einbezogen. Um dies zu ändern, hat Statoil ein neues Partnerschaftsmodell mit führenden Lieferanten entwickelt, dessen Ergebnis der Vertrag zwischen Statoil und dem Konsortium um ABB ist.

Ergebnis der Vertrag zwischen Statoil und dem Konsortium um ABB ist.

Das F&E-Kooperationsmodell ist eine IO-Initiative für sich. Es erfordert die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Unternehmen, Kulturen und Funktionen (F&E und Geschäftsbereichen) sowie ein gemeinsames Management und die Verwendung eines Gate-Prozesses¹⁾ zur Projektleitung. Die im Rahmen der Partnerschaft gewonnenen Erfahrungen werden zeigen, dass Statoil und seine wichtigsten Lieferanten Mehrwerte schaffen, indem sie ihre besten F&E-Ressourcen in einem Umfeld ohne Grenzen zusammenarbeiten lassen. Bei der kollaborativen Forschung geht es um gemeinsame Ziele, Vertrauen und um das Arbeiten mit aussagekräftigen Zielsetzungen.

1 Förderstätten von Statoil



Fußnote

¹⁾ Siehe auch Seite 12 dieses Hefts.

Automatisierung

Für das Konsortium stellt das Projekt eine einzigartige Gelegenheit dar, in einer frühen Phase des F&E-Prozesses Rückmeldungen vom Kunden zu erhalten. So können sich ABB und ihre Partner im Konsortium auf die wirklichen Bedürfnisse des Kunden konzentrieren. Außerdem wird sichergestellt, dass die entwickelten Technologien und Metho-

den in Pilotanlagen unter realen Betriebsbedingungen validiert werden.

Da jedes F&E-Team aus Vertretern aller fünf Partnerunternehmen besteht, haben die einzelnen Teammitglieder die Möglichkeit, unterschiedliche F&E-Kulturen kennenzulernen und Wissen und Erfahrungen auszutauschen. TAIL-IO bietet dem Konsortium die ideale Gelegenheit, die Technologien für die Ölindustrie von morgen in Zusammenarbeit mit einem führenden Kunden wie Statoil zu entwickeln und neue Konzepte und Technologien vor der weltweiten Markteinführung im Feld zu testen.

„Tail-End“-Produktion

Wie der Name andeutet, richtet sich TAIL-IO (von engl. tail-end = Endphase der Produktion) auf die Optimierung der Förderung von Feldern, die an das Ende ihrer Förderdauer gelangen. Die Tail-End-Produktion ist eine große Herausforderung, die alle Öl- und Gasunternehmen betrifft. Hierbei handelt es sich um die Phase, in der die Fördermenge sinkt, die Anlagen altern und hohe Betriebskosten anfallen. Eine Verlängerung der wirtschaftlichen Lebensdauer dieser Felder ist für alle Unternehmen – insbesondere auf dem Norwegischen Schelf – von entscheidender Bedeutung.

TAIL-IO ist in sechs Teilprojekte untergliedert, die auch als Technologiebereiche bezeichnet werden. Jeder Technologiebereich ist eng mit den anderen verknüpft, und eine enge Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Bereichen ist erwünscht ².

1. Zustandsabhängige Instandhaltung und Performance-Überwachung

Das Ziel ist die Erstellung eines Zustandsüberwachungsportals, das Daten zum Zustand aller kritischen Betriebsmittel unter und über Wasser beinhaltet und die Arbeitsprozesse in den IO-Zentren unterstützt. Im Rahmen des Projekts sollen Methoden zur frühzeitigen Erkennung von Fehlern und zur Prognose der Restlebensdauer sowie zur Überwachung des Zustands kritischer Betriebsmittel wie Pumpen, Ventile und elektrische, rotierende und ruhende Anlagenteile entwickelt werden.

2. Entscheidungsunterstützungsmodell zur strategischen Planung von Turnarounds und Abschaltungen

Ziel ist es, ein Tool zu entwickeln, das riesige Mengen komplexer Daten verarbeiten kann, um unplanmäßige Anlagenabschaltungen zu vermeiden.

3. Drahtlose Kommunikations- und Sensorsysteme

Zu den Zielen gehören die Entwicklung neuer, offener Kommunikationssysteme, die Installation drahtloser Instrumentierung zur Reduzierung des Verkabelungs- und Kapitalaufwands sowie die Automatisierung von Instandhaltungsaufgaben zur Reduzierung des Personalzeitaufwands.

4. Kollaborative Visualisierungstools zur Vorbereitung, Schulung, Durchführung und Unterstützung von Instandhaltungsarbeiten

Das Ziel ist die Entwicklung eines Tools, das eine Vielzahl von Funktionen (einschließlich der Zusammenarbeit in unternehmensübergreifenden Teams) zur Durchführung von Instandhaltungs- und Diagnoseaufgaben bereitstellt und eine bessere Unterstützung durch Kompetenzzentren ermöglicht.

5. Mobile IKT

Der Schwerpunkt dieses Teilprojekts liegt auf der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, Arbeitsprozessen und einer mobilen IKT-Infrastruktur zur Unterstützung des Anlagenpersonals. Die zunehmende Verbreitung von drahtlosen Netzwerken und Geräten ermöglicht Wartungstechnikern den ständigen Zugang zu Supportsystemen und -Mitarbeitern über PDA (Personal Digital Assistant) und drahtlose Verbindungen.

Infobox 1 Mitglieder des Konsortiums

IBM

IBM ist das zweitgrößte Softwareunternehmen und führender Anbieter von Middleware weltweit. Mit mehr als 3.000 Öl- und Gasexperten ist das Unternehmen führend im Bereich Business Consulting. IBM verfügt über die größte industrielle Forschungsorganisation der Welt mit 3.400 Mitarbeitern und acht Forschungslaboren rund um den Globus. Der Umsatz der Gruppe im Jahr 2006 betrug 91,4 Mrd. USD.

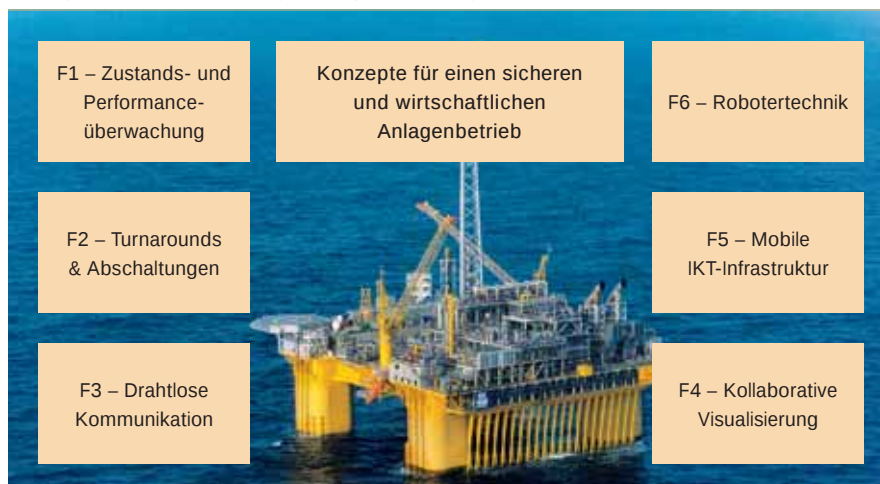
SKF

SKF ist ein führender Anbieter von Produkten, Lösungen und Serviceleistungen in den Bereichen Wälzlager, Dichtungen, Mechatronik, Schmierstoffe und Dienstleistungen. Der Geschäftsbereich Reliability Systems bietet wertschöpfende Systeme, Software und Beratungsleistungen zur Sicherung der Zuverlässigkeit von Maschinen. Der Umsatz der Gruppe im Jahr 2006 belief sich auf 7,7 Mrd. USD.

Aker Kvaerner

Aker Kvaerner ist ein führender globaler Anbieter von Engineering- und Konstruktionsdienstleistungen, Technologieprodukten und integrierten Lösungen für die Bereiche Öl und Gas, Raffination und Chemie, Bergbau und Metall sowie Stromerzeugung. Der Umsatz der Gruppe im Jahr 2006 betrug 8,4 Mrd. USD.

2 Teilprojekte des TAIL – Integrated Operations Projekts



Infobox 2 ABB und Statoil

Die enge Beziehung zwischen ABB und Statoil besteht bereits seit vielen Jahren und erstreckt sich über die meisten Segmente der Öl- und Gaswertschöpfungskette.

Troll A (unten links), eines der größten Erdgasfelder der Erde, wird durch zwei einzigartige Technologien von ABB mit Elektrizität versorgt: HVDC Light (Hochspannungs-Gleichstromübertragung) und VHV-Motoren (Hochspannungsmotoren). Diese weltweit erste Power-from-Shore-Lösung ermöglichte es Statoil, die Erdgasförderleistung um 25 Mio. m³ pro Jahr zu steigern und den jährlichen CO₂-Ausstoß um 230.000 t zu senken.



Das Gasfeld Snøhvit und die Gasverflüssigungsanlage in Hammerfest (unten rechts) sind mit einem umfassenden, vollständig integrierten Automatisierungs-, Sicherheits- und Elektrifizierungssystem von ABB ausgestattet. Nach dem Produktionsstart Ende 2007 wird Statoil damit in der Lage sein, die Unterwasseranlagen von einem einzigen Standort an Land aus zu steuern und zu überwachen und eine Energieeffizienz zu erzielen, die von keiner anderen Flüssigerdgas-Anlage auf der Welt erreicht wird.


6. Robotertechnik

Das sechste Teilprojekt konzentriert sich auf die Unterstützung des Menschen bei der Inspektion und beim Eingriff in Anlagen unter Wasser, über Wasser und an Land mithilfe der Robotertechnik. Das Ziel ist die Entwicklung von Lösungen, die Telerobotik und fortschrittliche Visualisierung miteinander kombinieren, um die Durchführung von Inspektions- und Instandhaltungsarbeiten aus der Ferne zu ermöglichen und technologische Lücken aufzudecken und zu schließen.

Infobox 3 Statoil

Statoil ist ein integriertes Öl- und Gasunternehmen und führender Betreiber von Anlagen auf dem Norwegischen Schelf. Mit Explorations- und Produktionsaktivitäten in 15 Ländern ist Statoil einer der weltweit größten Lieferanten für Rohöl und ein bedeutender Erdgaslieferant für den europäischen Markt. Der Umsatz von Statoil im Jahr 2006 betrug 71,7 Mrd. USD.

Kreative Zusammenarbeit

Angesichts der vielen Partner und unterschiedlichen Interessen ist die Entwicklung einer Projektkultur zur Förderung von Kreativität und Innovation kein einfaches Unterfangen. Hinzu kommt, dass auch eine Vielzahl von externen Forschungsinstituten am Projekt teilnehmen (zurzeit sind fünf PhD-Studenten und fünf Habilitationskandidaten im TAIL-IO-Projekt tätig).

Die Frage der Kreativität wurde gelöst, indem ein Umfeld kreiert wurde, das die Forscher sowohl unterstützt als auch fordert, was ein hohes Maß an Kreativität des Einzelnen und der Teams gewährleistet. Angesichts der Tatsache, dass den Forschern eine Vielzahl von Herausforderungen im Hinblick auf Technologie, Arbeitsprozesse und Zusammenarbeit geboten wird und sie die Möglichkeit haben, den F&E-Prozess von der Idee bis zur Pilotinstallation zu begleiten, erweist sich das TAIL-IO-Projekt schon jetzt als Erfolg.

Offenheit und der Austausch neuer Ideen stellen ebenfalls eine Herausforderung dar. Um sicherzustellen, dass gute Ideen nicht zurückgehalten werden und ihre Urheber die entsprechende Anerkennung bekommen, wurde ein System zur Registrierung von Erfindungsmeldungen entwickelt. Das Ziel ist es, diese Ideen zu Lösungen weiterzuentwickeln, erfolgreiche Pilotinstallationen in Statoil-Assets umzuwandeln und den Mitgliedern des Konsortiums die globale Vermarktung der Technologie zu ermöglichen.

Rollout für den Pilottest

TAIL-IO hat nun die Phase erreicht, in der mehrere Technologien und Lösungen zum Rollout für den Pilot-einsatz bereit sind. So soll zum Beispiel eine drahtlose Technologie für industrielle Umgebungen nach umfassenden Tests im Labor nun als Pilot-system an mehreren Statoil-Standorten eingesetzt werden. Außerdem steht ein umfangreicher Prüfstand für Robotertechnik zur Installation in einem ABB-Labor bereit, und mehrere Zustands- und Performance-Überwachungstechnologien mit standort-unabhängigem Datenzugriff – eine wichtige Voraussetzung für IO – sind für den Piloteinsatz vorgesehen. Der Erfolg dieser und anderer im Rahmen des TAIL-IO-Projekts entwickelter Technologien und Lösungen wird sich zeigen, wenn diese schließlich über eine Vielzahl verschiedener Assets und Anlagen hinweg implementiert werden.

Svein Vatland
ABB Process Automation, Oil and Gas
Oslo, Norwegen
svein.vatland@no.abb.com

Paula Doyle
ABB Strategic R&D for Oil and Gas
Oslo, Norwegen
paula.doyle@no.abb.com

Trond Michael Andersen
Statoil R&D
Trondheim, Norwegen
tman@statoil.com

Literaturhinweis

- [1] Oljeindustriens Landsforening, OLF: „Potential Value of Integrated Operations on the Norwegian Shelf“, 2006

Was uns Regelkreise verraten können

Überwachung der Anlagenperformance mithilfe von Regelkreisdaten

Manfred Rode, Ulrich Dombrowski, Jörg Budde



Große Industrieanlagen wie Kraftwerke umfassen eine Vielzahl von Komponenten und Teilprozesse, die reibungslos zusammenarbeiten müssen, um einen fehlerlosen und möglichst optimalen Gesamtprozess zu gewährleisten. Ermöglicht wird dies durch Hunderte oder gar Tausende von Regelkreisen, die dafür sorgen, dass die Anlage wie gewünscht läuft. Doch eine Anlage kann nur optimal laufen, wenn alle Regelkreise perfekt aufeinander abgestimmt sind. In der Praxis war dies bisher zu zeitaufwändig und zu kostspielig, da durch Veränderungen, Modernisierung und die Alterung der Anlage eine ständige Neuoptimierung erforderlich ist. Aus diesem Grund arbeiten nahezu alle Anlagen unterhalb ihres Optimums. In Zusammenarbeit mit STEAG hat ABB Verfahren für die Überwachung von Regelkreisen in Kraftwerken entwickelt, die ein kontinuierliches Post-Monitoring und somit einen optimalen Anlagenbetrieb ermöglichen.

Beim Plant Performance Monitoring geht es um die Überwachung der Gesamtleistung oder „Performance“ einer Anlage. Diese wird von vielen Faktoren bestimmt. Neben der natürlichen Alterung von Anlagenkomponenten spielen Unterbrechungen und fehlerhafte Einstellungen wie schlecht justierte Ventile eine Rolle. Prozessbezogene Veränderungen haben stets ungeplante Auswirkungen auf das Gesamtverhalten einer Anlage. Aus Zeit- und Kostengründen werden Anlagen nach solchen Veränderungen daher vorübergehend mit verminderter Kapazität betrieben. Die Analyse der Ursachen kann zu einer komplexen Angelegenheit werden, denn um eine Funktion zu finden, die nicht optimal arbeitet, müssen riesige Datenmengen ausgewertet werden.

Große Anlagen wie Kraftwerke haben häufig zwischen mehreren Hundert und mehreren Tausend Regelkreise. Davon wird normalerweise nur ein begrenzter Teil besonders beachtet – nämlich die, deren Fehlfunktion sich direkt auf die Betriebsabläufe auswirkt. Die Mehrheit der Regelkreise arbeitet mehr oder weniger im Hintergrund, da sich Fehlfunktionen nicht direkt auf die Performance der Anlage auswirken. Dennoch spielen sie eine bedeutende Rolle, wenn es um die optimale Performance der Anlage als Ganzes geht.

Der Zusammenhang zwischen dem „Wohlbefinden“, d. h. der Performance einer Anlage und eines Regelkreises wird deutlich, wenn man die Funktion eines Regelkreises innerhalb der Anlage betrachtet.

Die Regelabweichung – ein Maß für die Abweichung der zu regelnden Prozessgröße (Regelgröße) vom geforderten Ziel (Sollwert) – ist der Auslöser für einen Energie- oder Massenfluss. Neben der Regelgröße und dem Sollwert hat ein Regelkreis noch eine Ausgangsgröße (Stellwert), die den Energie- oder Massenfluss gemäß den Regelungsvorgaben regelt. Diese dient dazu, eine Anlagenkomponente so zu manipulieren, dass sich die Regelgröße auf den Sollwert einstellt. Dieses Anpassen an den Sollwert und insbesondere das Halten des Sollwerts unter dem Einfluss unvorhergesehener Störungen sind die primären Aufgaben eines Regelkreises.

Analyse von Regelkreissignalen

Regelkreise sind so etwas wie die Nerven einer Anlage. Aus ihrem aktuellen Zustand lassen sich Rückschlüsse auf den Zustand einer Anlage ziehen. Da die Regelkreise über die Anlagenkomponenten miteinander verbunden sind, kann sich eine Fehlfunktion in einer Komponente auf andere, möglicherweise weit entfernt liegende Komponenten auswirken. Obwohl versucht wird, diese Wechselwirkung durch prozessseitige Entkopplung – z. B. mithilfe von Pufferspeichern – zu minimieren, kann sie nicht vollständig beseitigt werden.

Die drei Größen eines Regelkreises (Sollwert, Regelgröße und Stellwert) reichen normalerweise aus, um die Funktionalität eines Regelkreises und damit der dazugehörigen Anlagenkomponente zu beurteilen. Gewöhnlich wird die Funktionalität eines Regelkreises durch Analyse von Sollwertstörungen bei der Aktivierung geprüft. Betrachtet man die Vielzahl von Regelungen in einer Anlage und den damit verbundenen Kosten- und Zeitaufwand, wird klar, warum diese Methode zur Prüfung der Regelkreisgüte im laufenden Betrieb immer weniger verwendet wird.

Ein bewährtes Konzept

Die Möglichkeit, den Zustand von Regelkreisen als Indikator für den Zustand einer Anlage zu verwenden, wurde bereits in den 1980er Jahren intensiv untersucht. Einer der Forschungsschwerpunkte war die Papierindustrie. Der Grundgedanke bestand darin, nicht mehr wie bei der zuvor erwähnten klassischen Störungsmethode jeden einzelnen Regelkreis analysieren zu müssen. Stattdessen musste es eine Möglichkeit geben, Informationen über die Güte der Regelkreise aus den Signalmustern im laufenden Betrieb zu gewinnen und Rückschlüsse über die Performance der Anlage als Ganzes zu ziehen.

Eine weitere Herausforderung bestand darin, ein Problem zu beseitigen, dessen Ursache im zunehmenden Mangel an qualifiziertem Personal lag. Während ein Ingenieur früher vielleicht für ein Dutzend Regelkreise verantwortlich war, muss er heute oft mehrere Hundert Regelkreise betreuen, was

eine zeitaufwändige Einzelüberwachung unmöglich macht.

Unter Bezeichnungen wie Control Loop Monitoring, Control Loop Performance Assessment, Loop Auditing und Control Performance Monitoring (CPM) wurden Methoden zur Regelkreisüberwachung entwickelt, die sich von ihrer Art her ähneln. Sie alle ermöglichen auf der Grundlage einer Vielzahl von statistischen Größen und deren Zusammenhängen eine quantitative Analyse eines einzelnen Regelkreises [1].

Diese Methoden sind praxiserprobt und stoßen außer in der Papierindustrie auch in der chemischen Industrie auf wachsendes Interesse. Dies ist wenig überraschend angesichts des erforderlichen Investitionsaufwands für einen Regelkreis in der chemischen Industrie. Berücksichtigt man das Mess- und Aktuatorsystem, die Regeleinrichtungen und die Signalübertragung, kann dieser leicht zwischen 5.000 und 100.000 EUR betragen [2]. Mögliche Zusatzkosten in Höhe von 100 bis 200 EUR pro Regelkreis für die Realisierung einer Regelkreisüberwachung fallen da kaum ins Gewicht.

Im Hinblick auf die Überwachung der Anlagenperformance spricht noch ein Argument für den Einsatz von CPM: die bereits erwähnten Güteprobleme im Zusammenhang mit der Einrichtung und Dimensionierung der Regeleinrichtungen. Laut Schätzungen arbeitet rund ein Drittel der Regelkreise gut und ein weiteres Drittel nur durchschnittlich. Rund 30 % der Regeleinrichtungen werden meist manuell betätigt, da ihre Regelleistung unzureichend ist.

Factbox STEAG GmbH

Die STEAG GmbH, eine Tochtergesellschaft der RAG, ist der fünftgrößte Stromerzeuger in Deutschland. Das Kerngeschäft des Unternehmens ist die Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken.

- Installierte elektrische Gesamtleistung: 9.000 MW
- Umsatz 2006: 2,73 Mrd. EUR
- Mitarbeiter: rund 5.000

www.steag.de

Automatisierung

Warum nicht auch für Kraftwerke?

Das von ABB entwickelte Softwaretool Optimize^{IT} Loop Performance Manager (LPM) beinhaltet Algorithmen, die eine Online-Analyse der Regelkreissignale und somit eine aktuelle, virtuelle Analyse der Regelung ermöglichen. Mit anderen Worten, eine gesonderte Prüfung der einzelnen Funktionen auf der Basis der Sollwertstörungsmethode ist damit überholt. Das Verhalten der Anlage unter normalen Betriebsbedingungen liefert bereits genug Informationen über die Güte der Regelungen.

Das Prozessleittechnik-Team im STEAG-Wärmeleistungswerk in Lünen, Deutschland, (Titelbild) war sehr interessiert daran, das Verfahren von ABB zur Performanceanalyse im Kraftwerk auszuprobieren. „Wir haben unglaublich umfangreiches Datenmaterial zu unseren Regelungen, das sich dazu eignen würde, die Kraftwerkskompatibilität des CPM-Verfahrens zu testen“, so das verlockende Angebot.

Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang war die langjährige positive Zusammenarbeit zwischen STEAG und ABB. Zum einen verfügte das

Kraftwerk bereits über ein Prozessleitsystem von ABB, und zum anderen wurde es bereits seit Jahren von ABB Service gewartet – zwei durchaus praktische Voraussetzungen für den Pilottest. Besonders vielversprechend war die Synergie zwischen dem Kraftwerkspersonal, der langjährigen Serviceerfahrung von ABB und dem Know-how der ABB-Wissenschaftler zur Entwicklung eines neuen CPM-Ansatzes für den Kraftwerksbereich.

Als Testszenario wurde die Luftzufuhr zur Brennkammer des Kraftwerks gewählt. Aufgrund der großen Luftmengen, den langen Transportwegen und den verstreut liegenden Kohlemöhlen ist dieser Bereich als mögliche Quelle für Störungen bekannt. Die Ingenieure entschieden sich absichtlich für einen begrenzten Bereich des Kraftwerks. So konnten sie sich auf die Besonderheiten von Kraftwerken konzentrieren und sicherstellen, dass die Ergebnisse mithilfe herkömmlicher Methoden verifiziert werden konnten. Um auch archivierte Daten analysieren zu können, wurden die zum Teil im ABB Forschungszentrum entwickelten Algorithmen in ein Softwaregerüst

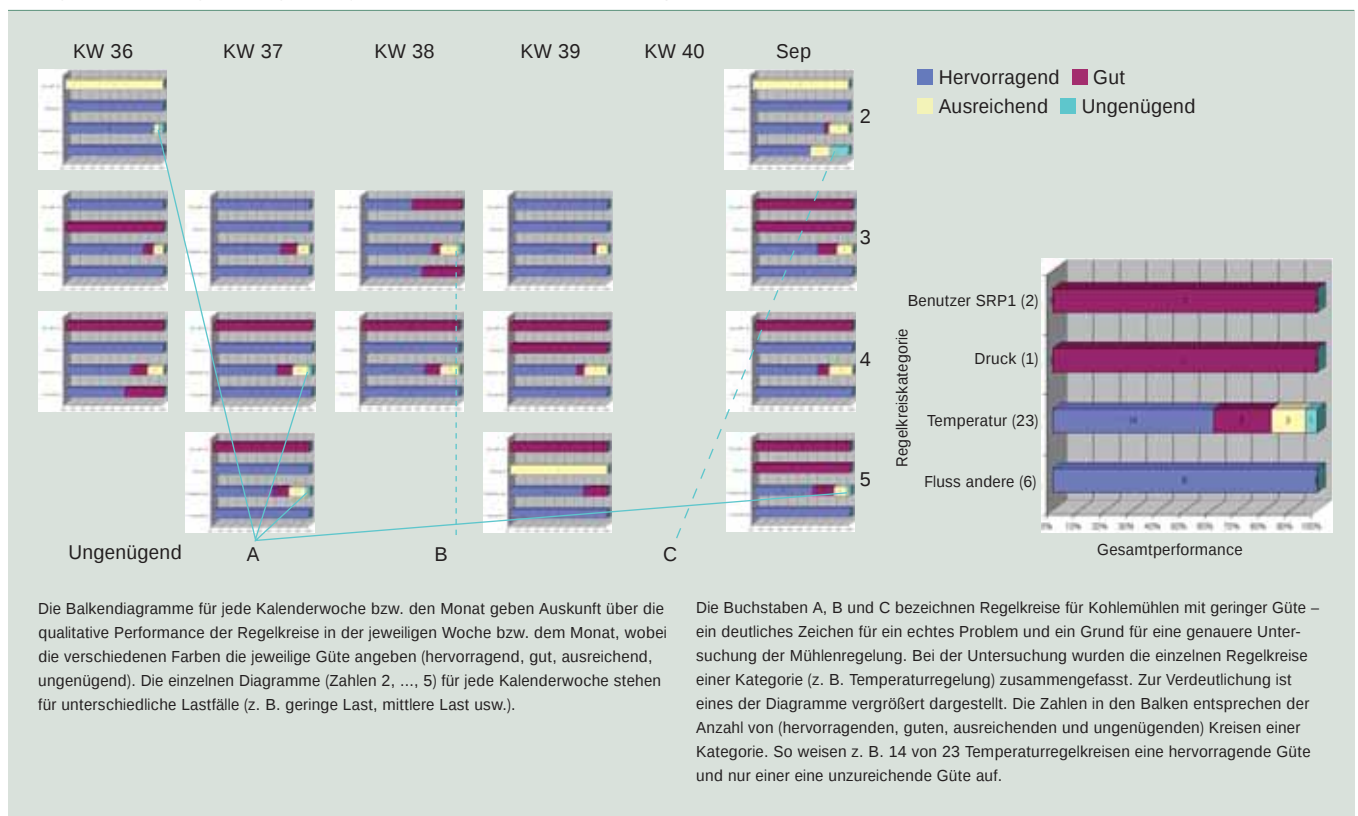
integriert, das den Zugang zu exportierten Archivdaten und die Darstellung der Ergebnisse in EXCEL[®] ermöglichte. Das Ergebnis ist eine vom Prozessleitsystem unabhängige Lösung ¹.

Bei ersten Einsätzen des Systems vor Ort wurden schnell die Unterschiede zwischen Kraftwerken und Papierfabriken deutlich. Während heutige Kraftwerke – einschließlich der für den Grundlastbetrieb ausgelegten Anlagen – durchaus einmal mit Volllast und dann wieder mit geringer Last betrieben werden können, sind die Bedingungen bei der Papierherstellung relativ beständig. Folglich sind die Arbeitsbedingungen für eine Regelung in einem Kraftwerk entsprechend anders.

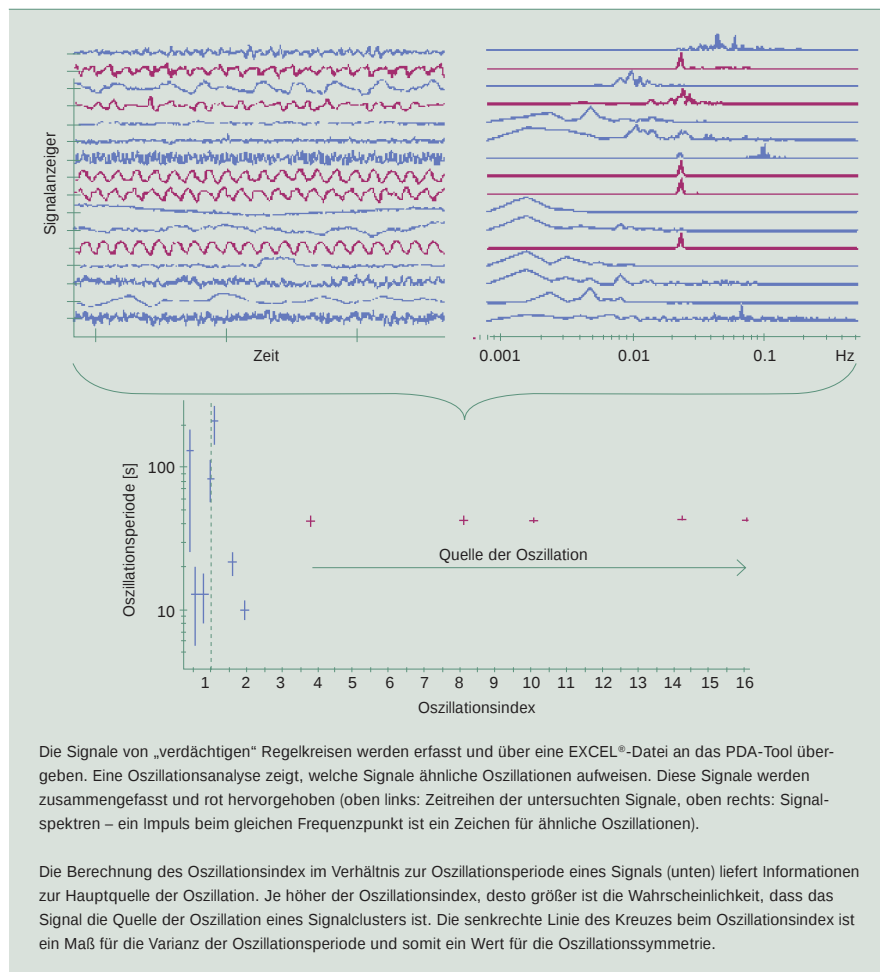
Schnell wurde klar, dass nicht alle erforderlichen Daten in einem Archiv zur Verfügung standen, da für die Datenanalyse mithilfe mathematischer Methoden zusätzliche Größen erforderlich sind, die bei rein empirischen Analysen mithilfe von Kurven häufig vernachlässigt werden.

Doch die enge Zusammenarbeit zwischen den hoch motivierten Kraft-

¹ Ergebnis einer Regelkreissignalanalyse in den Wochen 36 bis 39 im September 2005



2 Ablauf einer PDA



werksmitarbeitern, ABB Service und ABB Research erleichterte das Finden von entsprechenden Lösungen. Während sich das Kraftwerkspersonal daran machte, die Archivdaten zu vervollständigen, kümmerte sich ABB Service um einen möglichst effizienten Datenexport. Dazu mussten riesige Mengen von Daten im deutschen ABB Forschungszentrum in Ladenburg analysiert werden, wo auch die notwendigen Zusätze für die Analysealgorithmen entwickelt wurden.

Der Zugang zu riesigen Mengen von Regelkreisdaten aus einem Kraftwerk brachte die Entwickler darauf, ein Verfahren einzusetzen, das bis dato nicht für die Verwendung in Kraftwerken vorgesehen war: die sogenannte anlagenweite Störungsanalyse (Plant-wide Disturbance Analysis, PDA). Dieses Verfahren bietet eine Methode zur Analyse von Signalen, die sich von den herkömmlichen CPM-Methoden unterscheidet [3]. So ermöglicht die

PDA bessere Analysen der Kopplungen zwischen Anlagenteilen sowie eine zuverlässigere Rückverfolgung der Ursache für eine Störung [2].

Die Auswertung und Besprechung der Analyseergebnisse von rund drei Dutzend Regelkreisen – neben der Luftverteilung wurde später die Regelung der Dampfüberhitzung zum Überwachungsprozess hinzugefügt – über einen Zeitraum von etwa einem Monat lieferte interessante neue Einblicke in die analysierten Anlagenkomponenten. So waren die Ingenieure auf der Grundlage der Regelkreisdaten in der Lage, dem Kunden Verbindungen aufzuzeigen, die sonst nicht offensichtlich waren. Auch konnten einige offene Fragen des Kunden auf diese Weise beantwortet werden. Der erfolgreiche Einsatz der Online-Analyse hat dazu geführt, dass der Prozess nun über den gesamten Kraftwerksblock ausgeweitet wird.

CPM zur breiten Anwendung

Die Frage, ob CPM zur Überwachung der Anlagenperformance in Kraftwerken eingesetzt werden kann, wurde damit beantwortet. Mittlerweile hat ABB Service diese Dienstleistung in ihr Portfolio aufgenommen. Dies erleichtert nicht nur die Arbeit für das Personal im Kraftwerk, sondern bildet auch die Grundlage für den Aufbau einer umfassenden Wissensbasis über das Verhalten von Regelkreisen in Kraftwerken.

Außerdem braucht kein spezieller Analyse-PC installiert und in das Anlagennetzwerk integriert werden. CPM ermöglicht sowohl sporadische als auch zyklische Regelkreisanalysen mit großen Intervallen. Bei einer Besprechung der Analyseergebnisse zwischen dem Kraftwerkspersonal und ABB Service werden die notwendigen Maßnahmen konsolidiert. Auf jeden Fall basiert die Analyse auf fundiertem Datenmaterial. Das gemeinsame Entwicklungsprojekt mit STEAG hat einmal mehr gezeigt, wie erfolgreich die Beteiligung von Experten aus verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen sein kann.

Manfred Rode
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland
manfred.ode@de.abb.com

Ulrich Dombrowski
STEAG GmbH
Lünen, Deutschland
ulrich.dombrowski@steag.de

Jörg Budde
ABB Power Technology Systems
Schloß Holte-Stukenbrock, Deutschland
joerg.budde@de.abb.com

Literaturhinweise

- [1] Rode, M.: „Control Performance Monitoring – Ein effizientes Verfahren für die Zustandsüberwachung von Produktionsprozessen“, BWK Vol. 56 (2004) Nr. 9, S. 51–55
- [2] Dittmar, R., Bebar, M., Reinig, G.: „Control Loop Performance Monitoring – Motivation, Methoden, Anwenderwünsche“, Automatisierungstechnische Praxis 45 (2003) Nr. 4, S. 94–103
- [3] Horch, A., Cox, J., Bonavita, N.: „Störungen auf der Spur Ursachenanalyse von anlagenweiten Störungen“, ABB Technik 1/2007, S. 24–29

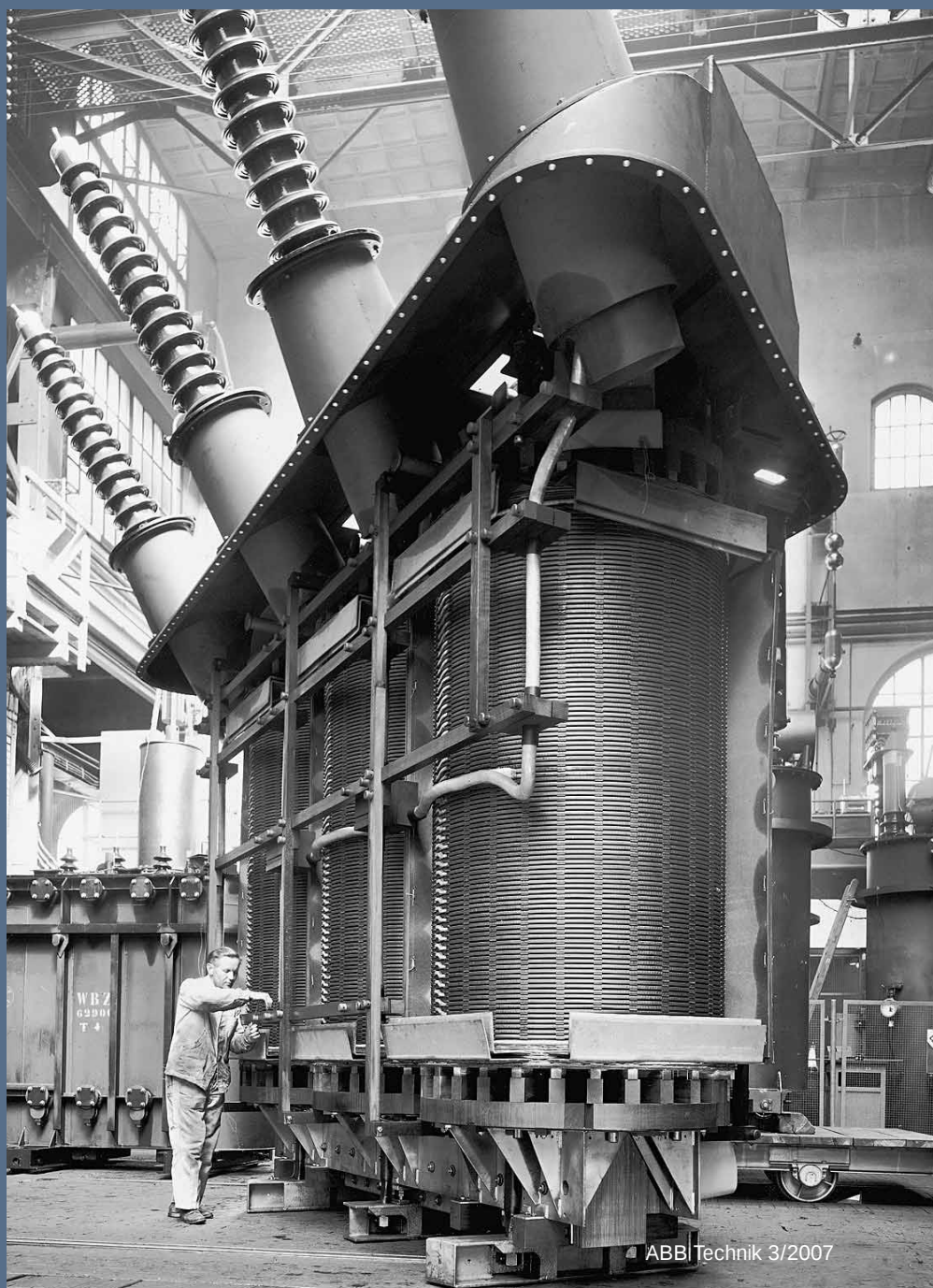
Voller Spannung

Die Geschichte der ABB-Leistungstransformatoren

Thomas Fogelberg, Åke Carlsson

Stellen wir uns für einen Moment die Welt ohne Leistungstransformatoren vor: Es gäbe keine Hochspannungs-Übertragungsnetze und damit auch keine Möglichkeit, Elektrizität wirtschaftlich über große Entfernungen zu transportieren. Die Stromversorgungsinfrastruktur hätte weder die rationale Auslastung noch die Möglichkeit zum Zusammenschluss von Reserven. Neuere Entwicklungen wie der internationale Stromhandel oder die umfangreiche Nutzung der Windkraft in abgelegenen Gebieten mit all ihren Vorteilen für die Kunden und die Umwelt wären ebenfalls nicht möglich. Zunehmende Bedenken hinsichtlich der Zuverlässigkeit von Stromnetzen unterstreichen zusätzlich die Bedeutung von Transformatoren mit ausreichender Leistung und Robustheit. Ohne den Transformator wäre die Stromversorgung heute weniger zuverlässig, teurer und mit größeren Verlusten behaftet – und sowohl die Industrie als auch unser Zuhause sähen ganz anders aus.

Über praktisch die gesamte Geschichte des kommerziellen Transformators hinweg waren ABB und ihre Vorgängerunternehmen an vorderster Front an der Fertigung und Weiterentwicklung des Transformators beteiligt. Einige Meilensteine dieser Entwicklung sollen im Folgenden näher betrachtet werden.



PIONIERLEISTUNGEN

ABB war stets gut positioniert, um die Anforderungen des Leistungstransformatorenmarkts zu erfüllen – angefangen von lokalen Anwendungen für die Punkt-zu-Punkt-Übertragung bis hin zu wesentlichen Bestandteilen von Verbundnetzen, die sich über riesige Flächen erstrecken.

Entwicklung von Leistung und Spannung

Ende des 19. Jahrhunderts hatte sich der Transformator zu einer unverzichtbaren Komponente in der kommerziellen Übertragung elektrischer Energie entwickelt. 1891 wurde auf der Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt am Main eine 20-kV-Anlage gezeigt, die die Realisierbarkeit von Leistungstransformatoren demonstrierte. Zwei Jahre später lieferte ASEA, eines der Vorgängerunternehmen von ABB, eines der ersten kommerziellen Drehstrom-Übertragungssysteme in Schweden, das ein Wasserkraftwerk mit einer 10 km entfernten großen Eisenerzmine verband.

Mithilfe von Transformatoren war es möglich, elektrischen Strom mit niedrigen Spannungen zu erzeugen und dann auf ein höheres Spannungsniveau zu transformieren, bei dem deutlich weniger Übertragungsverluste entstehen, und auf der Verbraucherseite schließlich wieder auf eine sicherere Spannung herunter zu transformieren. Bald darauf begannen verschiedene Unternehmen in den meisten europäischen Ländern und den USA mit der Herstellung von Transformatoren. ASEA, BBC, General Electric, Westinghouse und andere entwickelten rasch eine Kompetenz in der Fertigung und Installation von Transformatoren ¹. Zu dieser Zeit waren es alles inländische Unternehmen mit eigener Technologie, die in enger Partnerschaft mit den jeweiligen staatlichen Energieversorgungsunternehmen standen und diese belieferten. In Ländern wie Schweden, die über so gut wie keine eigenen fossilen Brennstoffreserven, aber über reichlich Wasserkraftpotenzial verfügten – wenn auch weit vom Verbraucher entfernt – war das Interesse an der elektrischen Energieübertra-

gung groß. Mit zunehmender Übertragungsentfernung musste die Spannung erhöht werden, um die Verluste gering zu halten und die Anzahl der erforderlichen parallelen Leitungen zu begrenzen.

Anfang der 1950er Jahre wurde in Schweden die weltweit erste 400-kV-Übertragungsleitung mit einer Länge von rund 1.000 km und einer Kapazität von 500 MW in Betrieb genommen. Dies setzte neue Maßstäbe in puncto Spannung und Leistung. Diese extrem hohe Spannung stellte nicht nur hohe Anforderungen an die Konstruktion und Fertigung von Transformatoren, sondern auch an die Prüfmethode. Da bei langen Übertragungsleitungen transiente Spannungen auftreten können, mussten neue und strengere Verfahren zur Prüfung der

¹ Ein früher Dreiphasentransformator auf Basis eines Patents von Johan Wenström, dem technischen Genie der ersten Jahre von ASEA. Wenström nannte seinen Transformator „Dreifachtransformator“.



² Die 400-kV-Aufspanntransformatoren im Wasserkraftwerk Harsprånget sind Einphasentransformatoren mit drei Niederspannungswicklungen für drei parallele Generatoren mit je 105 MVA.



dielektrischen Integrität definiert werden, die schließlich zum festen Bestandteil der Abnahmeprüfungen für Transformatoren wurden.

Schon bald folgte fast ganz Europa dem schwedischen Beispiel und führte die Höchstspannungsübertragung mit 400 kV ein ². In der kanadischen Provinz Québec war die Situation ähnlich wie in Schweden: nur wenige fossile Brennstoffreserven, aber viel Wasserkraft in großer Entfernung zu den industrialisierten Gebieten. Hier wurden noch höhere Spannungen benötigt, um eine effiziente Nutzung der Energiequellen zu gewährleisten. In der zweiten Hälfte der 1960er Jahre begann der Stromversorger Hydro-Québec, mit 735 kV zu übertragen (einer Spannungsebene, die später mit 800 kV bezeichnet wurde).

In den USA wurden zunehmend große Wärmekraftwerke mit Blöcken von 1.000 MW und mehr gebaut. Damit diese wirtschaftlich tragbar waren, musste der Strom über große Gebiete verteilt werden. Aus diesem Grund wurde das bestehende 345-kV-Netz um ein 765-kV-Netz ergänzt.

Während des Baus der 765-kV-Systeme wurden vorhandene 500-kV-Systeme erweitert. Ein Beispiel für die Entwicklung großer Koppeltransformatoren sind die frühen einphasigen 400-MVA-Einheiten mit 500/160 kV, die an Tennessee Valley Authorities (TVA) geliefert wurden.

Die ersten zu diesem Zweck von ASEA in Ludvika gefertigten Transformatoren besaßen einen fünfschenkigen Kern mit drei parallel bewickelten Schenkeln. Später wurden für die gleiche Nennleistung nur noch zwei bewickelte

Schenkel verwendet. Die letzten Einheiten mit diesen Spezifikationen besaßen einen bewickelten Hauptschenkel, während die Spannungsregelung auf einem der Seitenschenkel saß. Im Gegensatz zum Spartransformator waren bei diesen Transformatoren die Hoch- und Niederspannungswicklungen galvanisch voneinander getrennt. Neben dem Fertigungsaufwand (durch die geringere Zahl an bewickelten Schenkeln) verringerte sich im Laufe der Entwicklung auch die Gesamttrockenmasse um

PIONIERLEISTUNGEN

- 3 Der 1.785-kV-UHV-Transformator in der AEP-ASEA-Testanlage bei South Bend, USA. Der Transformator ist auf einer isolierten Plattform installiert, um die Auswirkungen von Netzspannungen bis 2.200 kV zwischen zwei Phasen zu untersuchen.



- 4 1.000-kV-Testanordnung mit Transformator und Kompensations-Drosselspule in der ENEL-Forschungsanlage in Italien



- 5 Einer von sechs Stromrichtertransformatoren auf der Empfangsseite der Pacific Intertie-Verbindung zur Versorgung von Los Angeles



ein Viertel. Zusätzlich wurden die Gesamtverluste (Leerlauf- und Lastverluste) um ca. 20 % reduziert. Später ging der Kunde zu Spartransformatoren mit den gleichen Spezifikationen über. Anfang der 1970er Jahre nahm TVA ihr erstes 1.200-MVA-Kraftwerk in Cumberland, Tennessee, in Betrieb. Die Aufspanntransformatoren (mit 420 MVA Nennleistung) für die Generatoren wurden von ASEA als einphasige Einheiten ausgeführt. Diese Transformatoren waren richtungsweisend im Hinblick auf ihre Leistungskapazität mit nur einem bewickelten Schenkel. Zur gleichen Zeit rief ASEA gemeinsam mit American Electric Power (AEP), dem größten privaten Stromversorger in Nordamerika, ein Entwicklungsprogramm mit dem Ziel ins Leben, die höchste technisch machbare Übertragungsspannung zu ermitteln. Zu diesem Zweck baute ASEA einen voll ausgestatteten Einphasen-Netztransformator mit einer Höchstspannung von 1.785 kV bei 333 MVA. Der Transformator besaß einen einzigen bewickelten Schenkel. Mit einem erweiterten fünfschenkligem Kern mit drei Wicklungen würde die Kapazität 1.000 MVA pro Phase, d. h. 3.000 MVA bei einer kompletten (dreiphasigen) Transformatorgruppe betragen. Der Transformator wurde in einer von ASEA und AEP gemeinsam betriebenen Forschungsanlage installiert und bis zum Abschluss des Forschungsprogramms erfolgreich betrieben 3. Ähnliche Entwicklungsprogramme wurden auch von einigen anderen ABB-Vorgängerunternehmen mit dem Ziel durchgeführt, Transformatoren für Übertragungsspannungen von 1.000 kV und mehr zu entwickeln. Ein Beispiel hierfür ist ein voll ausgestatteter 1.000-kV-Transformator mit Kompensations-Drosselspule, der in Italien gebaut und in der Testanlage von ENEL in Suveto installiert wurde 4. Die Forderung nach noch höheren Übertragungsspannungen und Transformatorleistungen wurde durch Veränderungen in der Energieerzeugungsstruktur und im Netzbau gebremst. Spannungen von über 400 kV in Europa und 800 kV auf anderen Kontinenten werden bisher nicht kommerziell genutzt. In China und Indien hat der Bedarf an langen Übertragungsleitungen mit hoher Kapazität – z. B. um große, abgelegene Wasserkraft-

werke zu erreichen – jedoch neues Interesse an Spannungen im Bereich von 1.000 bis 2.000 kV geweckt.

Transformortypen

Die meisten Transformatoren sind sogenannte Kerntransformatoren, d. h. sie besitzen zylinderförmige Wicklungen, die konzentrisch auf einem zylindrischen Kern angeordnet sind. Ein alternatives Konzept ist der sogenannte Mantel- oder „Shell-Type“-Transformator mit rechteckigen Wicklungen und mehr oder weniger überlappenden Hoch- und Niederspannungsabschnitten. Für bestimmte Anwendungen wie große Blocktransformatoren mit besonderen Anforderungen hat sich die Mantelbauweise als gut geeignet erwiesen. Die Unterschiede in den Fertigungsverfahren rechtfertigen die Herstellung der beiden Bauformen in unterschiedlichen Werken. So hat ABB die Fertigung der meisten Manteltransformatoren auf ihr Werk in Spanien konzentriert.

Restrukturierung der Fertigung

Leistungstransformatoren galten früher mehr oder weniger als strategische Produkte. Da es für einige Länder wichtig war, inländische Fertigungskapazitäten zu besitzen, knüpfte ASEA enge Verbindungen mit bestehenden Transformatorenherstellern und gründete neue Fabriken in mehreren Ländern wie Deutschland, Südafrika, USA, Kanada, Norwegen und Brasilien. BBC ergänzte seine Fertigung in Deutschland und der Schweiz um ein neues Werk in Brasilien. Westinghouse unterstützte den Aufbau und lieferte das Know-how für Fabriken in Italien, Spanien und Australien.

Leistungstransformatoren sind komplexe, auftragsspezifisch ausgeführte Produkte, die Kompetenz und Erfahrung in der Konstruktion und Fertigung erfordern. Wichtig für ein solches Geschäftsmodell sind klare, verbindliche Anweisungen, die sich in den Werkzeugen zur Konstruktion und Fertigung widerspiegeln.

Um eine effiziente Nutzung der verfügbaren Ressourcen zu gewährleisten, wurden die Konstruktions- und Herstellungsmethoden in allen Fabriken der Gruppe vereinheitlicht. Das Werk von ASEA in Ludvika diente als fachliche Basis und lieferte Unterstützung in technischen und fertigungsbezo-

PIONIERLEISTUNGEN

genen Fragen. Einmal im Jahr – falls notwendig auch häufiger – trafen sich die technischen Leiter und Leiter der Fertigung, um Informationen auszutauschen und Neuigkeiten aus der Entwicklung zu erfahren. Häufig wurden Ingenieure aus den verschiedenen Unternehmen zur Schulung und Fortbildung nach Ludvika eingeladen, und gut ausgebildete Ingenieure aus Ludvika erhielten die Möglichkeit, führende Positionen in den einzelnen Unternehmen einzunehmen. Die konstruktiven Regeln und Fertigungsverfahren wurden in Form von speziellen Standards und Anweisungen für die einzelnen Herstellungsphasen dokumentiert. So war es möglich, einen umfassenden Erfahrungsschatz für jede Phase der Konstruktion und Fertigung aufzubauen. Dank der großen Fertigungsbasis konnte außerdem ein umfangreiches Entwicklungsteam unterhalten und unterstützt werden. Nach der Gründung von ABB setzte sich die enge Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Fertigungsbetrieben fort. Alle beteiligten Werke erhielten Zugang zu gemeinsamen Informationen und Unterstützung von allen Mitarbeitern innerhalb des ABB-Konzerns. Heute werden für das Design und Engineering auf der ganzen Welt dieselben IT-Tools eingesetzt.

Fernübertragung

Um eine bessere Ausnutzung vorhandener Übertragungsleitungen und Trassen zu erzielen, werden heute vorzugsweise drei Arten von Betriebsmitteln eingesetzt: HGÜ-Stromrichtertransformatoren, Phasenschieber und Kompensations-Drosselspulen.

HGÜ-Stromrichtertransformatoren

Wenn es darum geht, Strom über große Entfernungen zu übertragen, bietet die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) mehrere Vorteile. Diese Art der Übertragung wurde zuerst zur Übertragung von elektrischer Energie über lange Gleichstromkabel genutzt, um den durch die Blindleistung hervorgerufenen Spannungsaufbau entlang der Kabel zu umgehen, der bei der Wechselstromübertragung entsteht. Bei der HGÜ verändert der Leistungstransformator nicht nur die Spannung, um den Leistungsaustausch zwischen dem Wechsel- und Gleichstromsystem zu ermöglichen, sondern wandelt auch

die Wechselspannung von einem dreiphasigen in ein sechsphasiges System um. So lassen sich die von den Ventilströmen erzeugten Oberschwingungen reduzieren. Zusätzlich wirkt der Transformator als Sperre für das Gleichstrompotenzial und verhindert, dass Gleichspannung in das Wechselstromnetz gelangt.

Die durch die Ventile hervorgerufenen Stromüberschwingungen und das Gleichstrompotenzial auf der Ventilseite des Transformators stellten die Ingenieure vor neue technische Herausforderungen. Die Oberschwingungen führen zu zusätzlichen Verlusten, die berücksichtigt und minimiert werden müssen, um gefährliche lokale Überhitzungen im Transformator zu verhindern. Das Gleichstrompotenzial auf den ventilseitigen Wicklungen führt zu einem dielektrischen Belastungsbild, das von dem normaler Wechselspannungen abweicht.

Die Bauweise der modernen Stromrichtertransformatoren geht auf die Einheiten zurück, die in den 1980er Jahren für das Itaipu-Projekt in Brasilien gebaut wurden. Hier wurde mit zwei in Reihe geschalteten Stromrichtern eine DC-Übertragungsspannung von 600 kV erreicht. Bei dieser Anschlussart müssen die Transformatoren für die obere Brücke eine dielektrische Spannungsfestigkeit von 600 kV aufweisen. Insgesamt befinden sich an jedem Ende der HGÜ-Leitung 24 Einphasen-Stromrichtertransformatoren mit einer Gesamtleistung von 6.000 MW. Der Transformator ist als einphasige Einheit mit zwei ventilseitigen Wicklungen ausgeführt, von denen eine in Dreieckschaltung und die andere in Sternschaltung vorliegt. Beide Schaltungen werden benötigt, um die erforderliche Phasenaufteilung zu erreichen. Die beiden ventilseitigen Wicklungen sitzen auf separaten Schenkeln mit einem gemeinsamen Kern und funktionieren elektrisch gesehen wie zwei unabhängige Transformatoren¹⁾.

Im Jahr 2004 lieferte ABB Einphasenstromtransformatoren mit einer Nennleistung von 620 MVA für die 500-kV-HGÜ-Verbindung Pacific Intertie in den USA . Dabei handelt es sich um die größten Stromrichtertransformatoren, die bisher hergestellt wurden. Zurzeit befindet sich ABB in der Endphase der Entwicklung von Stromrich-

tertransformatoren für die Gleichstromübertragung mit 800 kV²⁾. Vom Einsatz höherer Spannungen als bisher werden vor allem lange Punkt-zu-Punkt-Verbindungen insbesondere in China und Indien profitieren. Ökologische Vorteile ergeben sich durch die niedrigeren Übertragungsverluste und den geringeren Flächenbedarf für die Trasse.

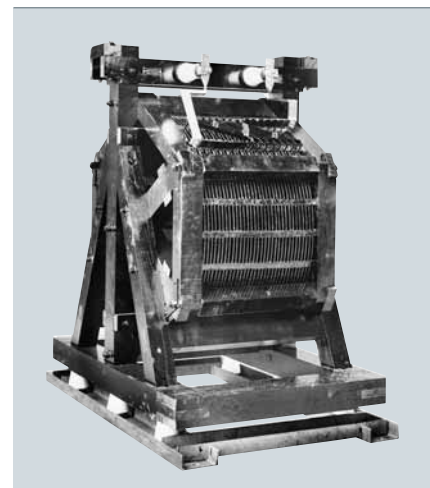
Phasenschieber

In stark vermaschten Hochspannungs-Übertragungsnetzen muss der Leis-

- 6** 400-kV-Querregler mit einer Durchgangsleistung von 1.630 MVA im italienischen Netz zur Regelung der Leistung in der Kuppelleitung zwischen Italien und Frankreich



- 7** Eine Drosselspule aus dem Jahr 1923 für Kurzschlusschutz- und Regelungsaufgaben



Fußnoten

¹⁾ Parallel zur HGÜ-Leitung verläuft eine 800-kV-AC-Übertragungsleitung von Itaipu in den Großraum von São Paulo. Diese wurde hauptsächlich vom BBC-Werk Mannheim gebaut.

²⁾ Siehe auch Asplund, G.: „Höchstspannungsübertragung, Alternative Szenarien zur Hochleistungsübertragung am Beispiel von 800-kV-Gleichstrom- und 1.000-kV-Wechselstromsystemen“, ABB Technik 2/2007, S. 22–27

PIONIERLEISTUNGEN

tungsfluss geregelt werden, um eine effiziente Lastverteilung zwischen parallelen Leitungen zu erzielen. Die Last in den einzelnen Leitungen wird von der Phasenverschiebung zwischen den Netzknoten bestimmt. Diese Verschiebung – und damit auch der Lastfluss – kann mit einem Phasenschieber geregelt werden.

Ein Phasenschieber wird mit der Leitung in Reihe geschaltet und liefert eine Ausgangsspannung, die der Eingangsspannung entspricht, allerdings mit einem (variabel) verschobenen Phasenwinkel. Wird nur eine geringe Phasenverschiebung benötigt, genügt ein weniger komplexes Gerät, das eine um 90° phasenverschobene Querspannung erzeugt. Physikalisch besteht dieser sogenannte Quertransformator oder Querregler **6** aus zwei Transformatoren: einem Magnetisierungs- und einem Reihentransformer³⁾.

Kompensations-Drosselspulen

Die Drosselspule (auch Induktor genannt) ist zwar kein Transformator im eigentlichen Sinne, doch da sie in Aufbau und Fertigung starke Ähnlichkeiten zum Transformator aufweist, kann sie sehr gut in Transformatorenwerken hergestellt werden.

Die Drosselspule wurde Anfang des letzten Jahrhunderts als wirksames Mittel zur Beherrschung von Überströmen und damit als Kurzschlusschutz eingesetzt **7**.

Lange Übertragungsleitungen und umfangreiche Kabelnetze mit hoher Spannung erzeugen beträchtliche Mengen an Blindleistung. Wird diese nicht kompensiert, kommt es bei geringer Last zu kritischen Spannungsanstiegen. Eine Induktivität (in Form einer Kompensations-Drosselspule) zwischen der Leitung und Erde ist ein wirksames Mittel, um die Erzeugung

von Blindleistung zu regeln und zu kompensieren. Einfach ausgedrückt, dient die Kompensations-Drosselspule als „Abfluss“ für die Blindleistung.

Die moderne Kompensations-Drosselspule, die auf Komponenten und der Technologie des Kerntransformators basiert, wurde Ende der 1960er Jahre eingeführt **8**.

Industrietransformatoren

Ein wichtiges Segment der ABB-Produktfamilie sind große Transformatoren für industrielle Anwendungen wie Ofentransformatoren und Gleichrichtertransformatoren **9**. Diese Transformatoren zeichnen sich durch vergleichsweise niedrige Sekundärspannungen, aber hohe Ströme aus. Lastströme von 60 kA oder mehr sind keine Seltenheit. Diese hohen Stromstärken mit ihrem großen Oberschwingungsanteil stellen eine große Herausforderung dar, insbesondere im Hinblick auf die hohen Magnetflüsse um die Ausleitungen im Kessel und um den luftseitigen Teil der Leitungen. Bei Ofentransformatoren kommt es neben den hohen Strömen zu Beginn der Stahlerhitzung im Schmelztiegel häufig zu Kurzschlüssen. Um die erforderliche Widerstandsfähigkeit gegen diese Kurzschlusskräfte und einen breiten Regelbereich zu gewährleisten, ist eine besondere Sorgfalt bei der Konstruktion und Fertigung der Transformatoren erforderlich.

Gründung von ABB

Im August 1987 schlossen sich die schwedische ASEA und die schweizerisch-deutsche BBC zu ABB zusammen. Kurz darauf konnte ABB auch die Transformatorenherstellung von Westinghouse in den USA, Ansaldo in Italien und verschiedene spanische Fabriken erwerben. National Industri in Norwegen und Strömberg in Finnland waren bereits kurz vor der Fusion mit BBC dem ASEA-Konzern angeschlossen worden.

Heute kann ABB dank ihrer verschiedenen Vorgängerunternehmen auf insgesamt 700 Jahre Erfahrung in der Fertigung von Transformatoren zurückblicken **Infobox**. Nach der Fusion mussten mehrere Transformatortechnologien, Fertigungsstätten und -verfahren in kürzester Zeit vereinheitlicht und aufeinander abgestimmt werden – und das ohne die normale

Reparatur eines HGÜ-Transformators in Drammen, Norwegen



8 150-MVAr-Kompensations-Drosselspule im schwedischen 400-kV-Netz



9 Luftgekühlter Gleichrichtertransformator für 91,74 MVA



PIONIERLEISTUNGEN

Produktion einzuschränken. Eine wahrhaft gigantische Aufgabe. Mithilfe verschiedener Arbeits- und F&E-Gruppen wurden die einzelnen Technologien bewertet und die besten ausgewählt. Obwohl das Funktionsprinzip des Transformators allgemeingültig ist, gibt es zahlreiche feine Unterschiede in der Umsetzung. Zu den Hauptzielen gehörten niedrigere Kosten, kürzere Produktionszeiten und die Sicherung einer hohen Qualität bei der Transformatorenprüfung. Wichtig war, dass sämtliche Konstruktions- und Fertigungsvariablen in einem nahtlosen Engineering-IT-System zusammengefasst wurden, das eine kunden-spezifische Konstruktion und Fertigung unterstützt.

Dank der erfolgreichen Vereinheitlichung der Technologien ist ABB heute in der Lage, das gleiche Produkt mit denselben hohen Qualitätsstandards zu liefern, ganz gleich ob der Transformator in Deutschland, Kanada, Brasilien, Indien oder China gefertigt wird. Schließlich wird von Leistungstransformatoren erwartet, dass sie über einen Zeitraum von 30–40 Jahren in allen Arten von Netzen zuverlässig arbeiten.

Einige der beteiligten Werke mussten umfassend renoviert und modernisiert werden, um die ABB-Standards in puncto Sauberkeit und Kompetenz für den Bau moderner Transformatoren zu erfüllen. Dank dieser gemeinsamen Technologiebasis und der umfassenden Hilfe von Engineering-Support-Teams konnte die Produktion mit zahlreichen Investitionen in neue Anlagen rasch anlaufen. Zusätzlich gründete ABB in Deutschland mit dem Knowledge Communication Center eine Ausbildungsstätte für den Engineeringbereich. Das durch die Gründung von ABB gestiegene Fertigungsvolumen ermöglichte es dem Unternehmen, mehrere Entwicklungsprogramme einschließlich der Erforschung innovativer Transformatorbauweisen ins Leben zu rufen. Zu den untersuchten Kon-

zepten gehörten supraleitende Transformatoren (eine 630-kVA-Einheit war ein Jahr lang in Betrieb) mit HTSL⁴⁾-Wicklungsleitern, Hochspannungs-Folienwicklungen (drei Einheiten in Betrieb) sowie große trockene und luftgekühlte Wicklungen auf Kabel-

basis (zwei Einheiten in Betrieb). Durch diese und ähnliche mehr oder weniger spekulative Projekte hat sich ABB ein umfangreiches Wissen angeeignet, das auch für die konventionelle Transformatorentechnik von Nutzen ist. Und auch wenn der Markt

Infobox TrafoStar™: 700 Jahre Erfahrung

ABB blickt auf insgesamt 700 Jahre Erfahrung im Transformatorenbau zurück.

Die Grundlage hierfür bilden die Errungen-schaften und das Know-how folgender Unternehmen:

- Asea
- Ansaldo/Ital Trafo/IEL/OEL/OTE
- BBC
- GE, USA
- National Industri
- Strömberg
- Westinghouse
- und andere

Diese 700 Jahre spiegeln die Kompetenz von ABB in der Konstruktion und Fertigung von Transformatoren wider, die durch umfangreiche Serviceerfahrung in Stromnetzen rund um die Welt ergänzt wird.

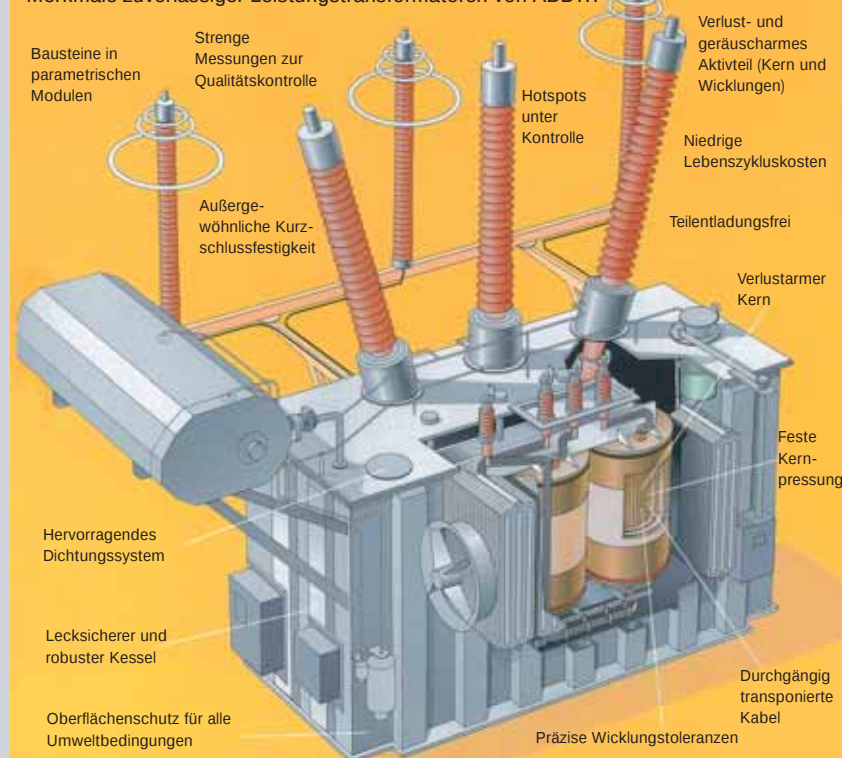
Aufbauend auf dieser umfassenden Wissensbasis hat ABB die bewährten Verfahrensweisen ihrer Vorgängerunternehmen in einem

globalen Konzept vereint – der TrafoStar™-Plattform.

Jeder TrafoStar™-Transformator wird nach den gleichen Regeln hinsichtlich Konstruktion, Material und Fertigung hergestellt. Der modulare Aufbau erlaubt ein hohes Maß an Wiederverwendbarkeit, was die Durchlaufzeit im Werk verkürzt, Variationen minimiert und ein hohes Maß an Qualität gewährleistet. Die Fertigung von 1.400 Einheiten im Jahr liefert ABB eine einzigartige Grundlage für Analysen der Performance und wichtiger Schlüsselparameter, um kontinuierliche Verbesserungen in allen Werken zu ermöglichen.

Doch ABB-Kunden profitieren nicht nur von den neuen Transformatoren. Dank des umfassenden Know-hows, das im TrafoStar™-Konzept steckt, ist ABB in der Lage, Service und Unterstützung für alle 400.000 weltweit im Betrieb befindlichen Leistungstransformatoren zu bieten.

Merkmale zuverlässiger Leistungstransformatoren von ABB...



Fußnoten

- ³⁾ Ein Querregler nutzt einen Paralleltransformator, um die Phase der Eingangsspannung um 90° zu verschieben (daher die Bezeichnung „quer“). Der Ausgang dieses Paralleltransformators wird angezapft, wobei die Amplitude variiert werden kann. Diese Spannung wird dann über einen Reihentransformator in den Hauptstromkreis gespeist.
- ⁴⁾ HTSL = Hochtemperatur-Supraleiter

PIONIERLEISTUNGEN

diese Innovationen noch nicht vollständig akzeptiert hat, stehen die Lösungen zur Verfügung. Dank der Gesamtkapazität der neu gegründeten ABB konnte das Transformatorsegment die aktive Beteiligung seiner Vorgängerunternehmen an internationalen Gremien wie CIGRE, IEC und IEEE fortsetzen. So konnten Standards und entsprechende Verfahren zur Prüfung der Integrität von Transformatoren unter verschiedenen Betriebsbedingungen formuliert werden. Durch die Anwendung strenger Qualitätsanforderungen bei der Konstruktion und Fertigung ist das

Mehr als die Summe seiner Einzelteile:
Montage eines Transformators



10 ABB-Verteiltransformator in Brasilien



Risiko unvorhergesehener Schwierigkeiten über eine lange Lebensdauer hinweg gesunken.

Nach der Fusion entwickelte ABB eine Reihe von Transformatoren, die die gesamte Energieübertragungskette von der Erzeugung bis zur heimischen Steckdose abdeckte. Die am Ende dieser Kette verwendeten Transformatoren werden allgemein als Verteiltransformatoren bezeichnet. Hierbei handelt es sich mehr oder weniger um Massenerzeugnisse, die für die jeweilige Netztopologie in den einzelnen Regionen der Welt gebaut werden ¹⁰. ABB nutzt ihr Wissen und ihre Kapazität zur Entwicklung und Fertigung von strategischen Materialien und Komponenten für Transformatoren in speziellen Werken. Zu erwähnen sind hier hochwertige Produkte wie Transformator Boards und Wicklungsisolierungen, die entsprechend der ABB-eigenen Technologie gefertigt werden. Darüber hinaus gehört ABB zu den größten Lieferanten von Stufenschaltern und Durchführungen verschiedener Bauart. Dadurch, dass ABB bei Transformatoren, Isolationsmaterialien, Stufenschaltern, Durchführungen und der neu aufkommenden Transformatorsteuerung ihre eigene Technologie besitzt, ist das Unternehmen in der einzigartigen Lage, seinen Kunden ein komplettes Produktportfolio für Transformatorenanwendungen und eine starke Basis für zukünftige Entwicklungen bieten zu können.

Geografische Verschiebung in der Produktion

Die Gründung von ABB hatte zunächst hauptsächlich Auswirkungen in Europa, wo sich die meisten Transformatorenwerke befanden. Später wurden dann Unternehmen auf dem nordamerikanischen Kontinent dem Konzern angegliedert.

Ende der 1980er Jahre und in den 1990er Jahren war der Ausbau der Stromerzeugung und -übertragung in der westlichen Welt rückläufig. Die vorhandenen Kapazitäten reichten mehr oder weniger aus, um den Bedarf zu decken. Dank der reichlichen Verfügbarkeit von Öl sank die Notwendigkeit zur Umwandlung der Energieressourcen in Elektrizität. Dies führte zu einer Überkapazität auf dem Markt für Leistungstransformatoren.

Gleichzeitig erfuhr die Wirtschaft in den pazifischen Randgebieten und im Fernen Osten einen Aufschwung, und der Strombedarf schnellte in die Höhe. Transformatorenwerke in Europa und Nordamerika mussten schließen, während ABB in China und Indien neue Werke gründete.

Blick in die Zukunft

Transformatoren, die nach dem Induktionsprinzip funktionieren, werden noch viele Jahrzehnte die Grundlage der Spannungsumwandlung bilden. Neue Materialien werden dabei helfen, Kosten zu senken, und eine bessere Beherrschung der thermischen Belastbarkeit ermöglichen. Diese Entwicklungen werden sowohl Leitermaterialien als auch feste und flüssige Isolierstoffe betreffen, während für den Elektrostahl und den Transformator-kern keine Alternativen in Sicht sind. In Zukunft werden neue Methoden zur Bemessung von Transformatoren durch eine bessere Beherrschung der thermischen Belastbarkeit dabei helfen, den Einsatz teurer Materialien zu reduzieren. Bei der Spezifikation von Transformatoren muss ein größeres Gewicht auf das Lastprofil, zukünftiges Wachstum und den Notbetrieb gelegt werden, wobei die am stärksten von Veralterung betroffenen Bereiche durch neue Standards abgedeckt werden müssen. Zu der neuen Bemessung von Transformatoren nach diesen internationalen Standards gehört auch die Integration von mehr Intelligenz. Andere Ziele liegen in der weiteren Verbesserung der mechanischen, thermischen und dielektrischen Integrität von Transformatoren – um sie besser für die größeren Belastungen in den Netzen von morgen zu wappnen.

Thomas Fogelberg
ABB AB, Power Transformers
Ludvika, Schweden
thomas.fogelberg@se.abb.com

Åke Carlsson
Former Senior Electrical Engineer
ABB AB, Power Transformers
Öhr Klockaregård
S-342 64 ÖR, Schweden

Editorial Board

Peter Terwiesch
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Clarissa Haller
Corporate Communications

Ron Popper
Sustainability

Frank Duggan
Head of Group Account Management

Friedrich Pinnekamp
Chief Editor ABB Review,
Group R&D and Technology
friedrich.pinnekamp@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 gestat-
tet. 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 Abonne-
ment 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

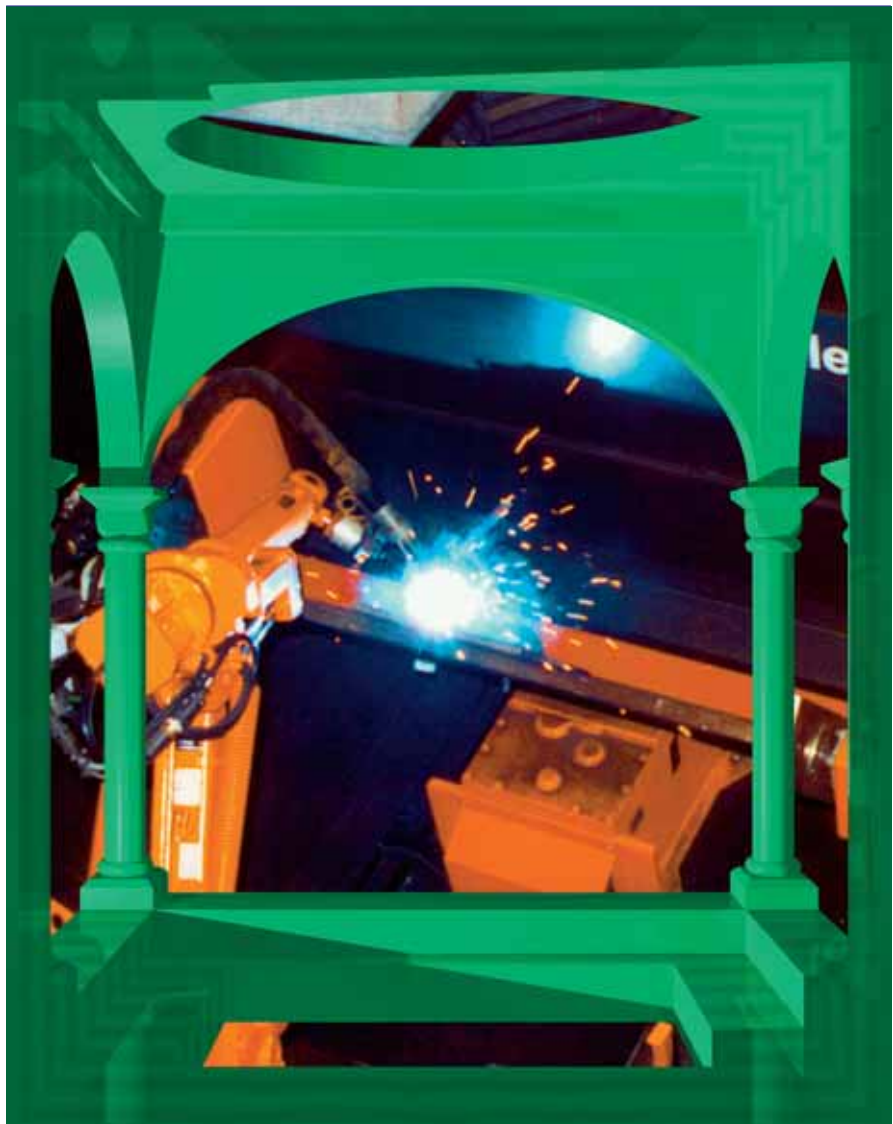
Haftungsausschluss

Die in dieser Publikation enthaltenen Informa-
tionen geben die Sicht der Autoren wieder
und dienen ausschließlich zu Informations-
zwecken. Die wiedergegebenen Informa-
tionen können nicht Grundlage für eine prak-
tische Nutzung derselben sein, da in jedem
Fall eine professionelle Beratung zu empfeh-
len ist. Wir weisen darauf hin, dass eine
technische oder professionelle Beratung
vorliegend nicht beabsichtigt ist. Die Unter-
nehmen 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 4/2007



Innovations-Highlights

Die besten technischen Innovationen sind diejenigen, die aus guten Produkten hervorragende machen oder zur Entwicklung eines völlig neuen Produkts führen, das bisher unerfüllte Forderungen erfüllt. Jedes Jahr beurteilt das Technologie- und Innovations-Managementteam von ABB den potenziellen Nutzen aller Innovationen für das Unternehmen und seine Kunden. Sollten sich alle Prognosen bewahrheiten, wird 2007 ein sehr erfolgreiches Jahr – sowohl aus geschäftlicher Sicht als auch im Hinblick auf die Innovationen. Die besten Innovationen dieses Jahres werden in der nächsten Ausgabe der *ABB Technik* vorgestellt.

Fortschrittliche Leistungsschalter,
neue Stromrichter, 800-kV-Gleich-

stromanlagen, innovative Schritte auf dem Gebiet der Instrumentierung und neue Ansätze für Remote-Services sind ebenso ein Thema wie neue Anwendungen für Roboter, innovative Stationsautomatisierungen und Fortschritte bei der Vor-Ort-Instandsetzung.

Energieeffizienz, ein wichtiges Merkmal aller ABB-Produkte und Hauptthema der *ABB Technik 2/2007*, steht ebenfalls wieder auf der Agenda. Außerdem befassen wir uns mit der Sicherheit von Informationssystemen zum Betrieb von Industrieanlagen. Ein Blick in Geschichte der Elektromotoren, einem der am meisten entwickelten Produkte von ABB, rundet die letzte Ausgabe des Jahres ab.



We help
customers use
less energy to be
more productive.

© 2005–2007 ABB

Automation and control systems that boost productivity
and reduce energy costs. Visit us at www.abb.com

Power and productivity
for a better world™

