

ABB

3 | 15  
de

# review

**YuMi®**, der kollaborative Zweiarm-Roboter 7

Zustandsanalyse von Transformatoren 12

**Optimierung von Lichtbogenöfen** 25

Schwingungen unter Kontrolle 52

Die technische  
Zeitschrift des  
ABB Konzerns



## Robuste Produktion

Power and productivity  
for a better world™





Für die moderne Gesellschaft spielt die Produktion in vielerlei Hinsicht eine zentrale Rolle. Für den Konsumenten ist sie eine Quelle für Waren und Produkte. Für die Wirtschaft ist sie eine Quelle des Wohlstands. ABB ist auf vielfältige Weise daran beteiligt – von der Bereitstellung der Energie, die alles ermöglicht, über Steuerungs- und Automatisierungssysteme bis hin zu Sensoren und Motoren, die in der Fertigung für Bewegung sorgen.

Die Titelseite dieses Hefts zeigt einen Motor bei seiner Installation in der Abwasseranlage von Käppala im schwedischen Lidingö. Weitere ABB-Produkte in der Anlage sind Schaltanlagen, Wechselrichter und ein Leitsystem. Das Bild auf dieser Seite zeigt eine Raffinerie in Houston, USA.



---

# Steigerung der Produktivität

- 7 **YuMi®**  
Der erste wirklich kollaborative Zweiarm-Roboter der Welt markiert den Beginn einer neuen Ära
- 12 **Der Blick aufs Ganze**  
Kostengünstige Maximierung der Zuverlässigkeit von Transformatoren
- 18 **Geschickte Lastverteilung**  
Energiekosten durch flexible Produktion sparen

---

# Prozesse und Produktivität

- 25 **Der richtige Dreh**  
ArcSave® steigert die Produktivität und senkt die Kosten beim Betrieb von Lichtbogenöfen
- 32 **Des Motors bester Freund**  
ABB verringert die Lücke zwischen Sanftanlassern und Frequenzumrichtern
- 35 **Mittlere Spannung, hervorragende Leistung**  
Die PCS100 Mittelspannungs-USV von ABB
- 39 **Ein Blick auf Windows**  
Windows XP hat das Ende seiner Lebensdauer erreicht – was sind die Folgen?
- 42 **Der nächste Schritt**  
Die PASS-Hybridschaltanlage von ABB ist jetzt für 420 kV verfügbar
- 48 **Intelligentes Wohnen**  
Haussteuerung so einfach wie nie
- 50 **Gut verdrahtet**  
Steckbare Verbindungen und vorverdrahtete Lösungen steigern die Produktivität

---

# Zähmung der Leistung

- 52 **Zähmung der Leistung**  
Beherrschung komplexer Instabilitäten mithilfe fortschrittlicher numerischer Verfahren
- 55 **Schwingungen beherrschen**  
Fortschrittliche aktive Dämpfungsmethoden für Mittelspannungsumrichter

---

# In eigener Sache

- 60 **300.000-Dollar-Forschungspreis**  
ABB ruft einen Preis ins Leben, um herausragende Forschungen von Postdoktoranden zu ehren und zu unterstützen
- 62 **Ihre Meinung zählt**  
Helfen Sie uns, die ABB Review weiter zu verbessern



# Robuste Produktion



Claes Ryttoft

## Liebe Leserin, lieber Leser,

rund 31 % des weltweiten Bruttoinlandsprodukts und 34 % der weltweiten Beschäftigung entfallen auf die industrielle Produktion. Ob es nun darum geht, eine Prozesschemikalie herzustellen oder das neueste Smartphone – die damit verbundene Logistik erfordert das Zusammenspiel zahlreicher Disziplinen in einer komplexen Choreografie. Auch ABB ist eng mit dem Thema Produktion verbunden. Nicht nur, weil die meisten unserer Kunden in diesem Sektor tätig sind – als Fertigungsunternehmen kennt und teilt ABB die damit verbundenen Herausforderungen selbst auch.

In einer schnelllebigen Welt befindet sich die Industrie in einem stetigen Wandel. Gleichzeitig eröffnen neue Produktionsmittel neue Möglichkeiten. Ein Beispiel ist der Bereich der Robotik. Bis vor Kurzem arbeiteten typische Industrieroboter hinter strengen Sicherheitsbarrieren, die durch die Art der Tätigkeit und das Design der Ausrüstung vorgegeben wurden. Obwohl Roboter nach wie vor das Rückgrat dieser schweren Arbeiten sind, ist ihr Potenzial nicht mehr auf solche Umgebungen beschränkt. An vielen zukünftigen Produktionslinien werden Roboter und Menschen Seite an Seite zusammenarbeiten. Jeder macht das, was er am besten kann, und Werkstücke werden als fester Bestandteil des Arbeitsablaufs zwischen Mensch und Roboter ausgetauscht. Die Sicherheit wird dabei durch eine Kombination aus Hardware- und Roboterverhalten sichergestellt. Der Leitartikel dieses Hefts befasst sich mit dem bahnbrechenden ABB-Roboter YuMi®.

Die Steigerung der Effizienz und Robustheit der Produktion erfordert eine Optimierung in vielen Bereichen, die über das eigentliche Design der Ausrüstung hinausgehen. Hier spielen insbesondere Software und Services eine zunehmend zentrale Rolle. Beispiele hierfür, die in dieser Ausgabe behandelt werden, sind das Zustandsmanagement von Transformatoren und die dynamische Planung von Arbeitsschritten, um Energiekosten zu sparen.

Weitere produktionsbezogene Themen in diesem Heft sind das elektromagnetische Rühren in Lichtbogenöfen (was u. a. die Effizienz und Konsistenz verbessert), ein Sanftanlasser, der neue nützliche Möglichkeiten der Motorsteuerung bietet, eine Mittelspannungs-USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung) und die Erhöhung der Effizienz bei Installationsarbeiten durch Vorverdrahtung.

Eine besondere Herausforderung beim Design und Betrieb von elektrischen Systemen sind mögliche Schwingungen und Instabilitäten, die – wenn sie nicht richtig behandelt werden – Ausrüstungen beschädigen oder Ausfälle verursachen können. Unter dem Titel „Zähmung der Leistung“ startet die ABB Review eine Reihe von Artikeln zu diesem Thema. Der erste Artikel befasst sich mit Mittelspannungs-Frequenzumrichtern.

Der Erfolg von ABB ist unter anderem von der Arbeit brillanter Köpfe abhängig, die an Hochschulen in unseren Kernbereichen forschen. Zu Ehren von Hubertus von Grünberg, Verwaltungsratspräsident von ABB zwischen 2007 und 2015, hat das Unternehmen einen Preis für die beste Dissertation in den Bereichen Energie und Automatisierung ins Leben gerufen. Der mit 300.000 USD dotierte Forschungspreis wird alle drei Jahre vergeben. Mehr über diesen Preis lesen Sie in dieser Ausgabe der ABB Review.

Abschließend möchte ich Sie dazu einladen, an einer Umfrage teilzunehmen und uns Ihre Meinung zur ABB Review mitzuteilen. Ihre Meinung ist uns sehr wichtig und hilft uns dabei, die Zeitschrift weiter zu verbessern.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

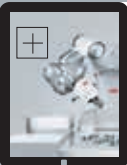


Claes Ryttoft  
Chief Technology Officer &  
Group Senior Vice President  
ABB Group









**Mehr von ABB Review**

Zusätzliche Bilder und Videos zu diesem Artikel gibt es in der ABB Review App.





# YuMi®

Der erste wirklich kollaborative Zweiarm-Roboter der Welt markiert den Beginn einer neuen Ära

PHIL CROWTHER – Fortschritte auf dem Gebiet der Robotik haben den Einsatz von Robotern an Fertigungslinien in den letzten Jahren erheblich vereinfacht: Die Installation geht schneller, Programmierung und Umprogrammierung wurden vereinfacht, und die Roboter sind vielseitiger geworden, d. h. sie können mehr Aufgaben übernehmen als zuvor. Was jedoch fehlte, war ein kollaborativer Roboter, der einfach zu trainieren ist und ohne trennende Schutzzäune Seite an Seite mit menschlichen Kollegen zusammenarbeiten kann. Dies ist jetzt anders. Nach jahrelanger Forschung und Entwicklung präsentiert ABB mit YuMi® den ersten wirklich kollaborativen Industrieroboter, der sämtliche Sicherheitsstandards erfüllt und somit Hand-in-Hand mit Menschen an Montagelinien zusammenarbeiten kann. Damit markiert YuMi den Beginn einer neuen Ära in der industriellen Fertigung.

---

#### Titelbild

YuMi markiert einen Durchbruch auf dem Gebiet der kollaborativen Roboter.

Die Sicherheit von YuMi gegenüber dem Menschen wurde von einer unabhängigen Stelle zertifiziert.

1 YuMi besitzt gepolsterte Arme, die seine Bewegung bei unerwartetem Kontakt sofort stoppen.



**N**ur wenige Produktionsbereiche ändern sich so schnell wie die Kleinteilmontage. Vor allem die Elektronikindustrie verzeichnet eine enorme Nachfrage und hat gleichzeitig mit einem Mangel an Fachkräften zu kämpfen. Da sich herkömmliche Montagemethoden als immer unwirtschaftlicher erweisen, sehen Hersteller die strategische und wirtschaftliche Notwendigkeit, in neue Lösungen zu investieren.

Mit der Einführung des Zweiarm-Roboters YuMi – eine Kurzform für „you and me“ – präsentiert ABB eine wegweisende Lösung für die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter in der Kleinteilmontage.

#### Sicherheit ist oberstes Gebot

YuMi ermöglicht im wahrsten Sinne des Wortes eine grenzenlose Zusammenarbeit, denn er kommt ohne Schutzzäune und -käfige aus. Sein Design basiert auf einer revolutionären Integration von Bewegungssteuerungssoftware, geschwindigkeitsbegrenzter Hardware, geringem Gewicht, einer kompakten Bauweise und einer hohen Beweglichkeit mit insgesamt 14 Bewegungsachsen. Die gepolsterten Magnesiumarme in Leichtbauweise sind in der Lage, die Bewegung des Roboters bei Bedarf – z. B. im Fall eines unerwarteten Zusam-

menstoßes – innerhalb von Millisekunden zu stoppen → 1.

Wie ein menschlicher Arm besitzt YuMi keine Quetsch- und Klemmstellen, sodass beim Beugen der Arme nichts zwischen gegenüberliegenden Flächen zerdrückt werden kann. Die Verkabelung und die Druckluftleitungen sind in die gepolsterten Arme integriert. Dadurch wird ein Hängenbleiben verhindert, der Wartungsaufwand reduziert sowie das Reinigen und Abstauben des Roboters erleichtert.

Die Kombination all dieser Merkmale sorgt dafür, dass die Sicherheit menschlicher Mitarbeiter an Produktionslinien und in Fertigungszellen gewährleistet ist.

#### Produktivität

Neben seiner inhärenten Sicherheit zeichnet sich YuMi durch eine hohe Effizienz und Leistungsfähigkeit aus – zwei Eigenschaften, die für eine schnelle Amortisation sorgen. ABB hat YuMi so konzipiert, dass er als Komplettlösung mit integrierten Armen, Händen, Rumpf, Steuerungstechnik und Teilezuführsystem sehr schnell eine hohe Produktivität erreicht.

Bei der Entwicklung von YuMi kam ABB die globale Präsenz des Konzerns zugute, die einen Einblick in die Fertigungs-



2 Um YuMi eine neue Aufgabe beizubringen, führt ihn der Bediener manuell durch die erforderlichen Bewegungen, die dann gespeichert werden.



Die Zukunft der Robotik und der Automatisierung liegt in der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter – dies gilt nirgendwo so sehr wie an den Montagelinien für die Elektronik, auf die wir mittlerweile angewiesen sind.

trends in 53 Ländern ermöglichte. In vielen dieser Länder – insbesondere im nordasiatischen Raum – ist ein starkes Wachstum im Bereich der Elektronik zu erwarten. Kennzeichnend bei diesen Trends ist die sogenannte „3C Convergence“, die rasche Verschmelzung von Computer, Kommunikation und Unterhaltungselektronik. Dies hat dazu geführt, dass Verbraucher eine kontinuierliche Innovation zu erschwinglichen Preisen erwarten, was die Produktionsprozesse vor zusätzliche Herausforderungen stellt. Für die Hersteller bedeutet dies eine Veränderung des Marktes, die nur durch Automatisierung wirksam bewältigt werden kann. So wird die Kleinteilmontage heute von der Forderung nach größeren Stückzahlen, kürzeren Produktlebenszyklen, kürzeren Vorlaufzeiten und einem zunehmenden Trend zur Individualisierung von Produkten – insbesondere in der Elektronik – nahe am Endmarkt bestimmt.

Diese neue Welt der Kleinteilmontage erfordert Roboter, die äußerst flexibel und einfach trainierbar sind. Bei YuMi muss der Bediener lediglich ein „Aufnahme“-Programm aktivieren, den Roboter manuell durch die gewünschten Bewegungen führen und dabei Wegpunkte und Greifertätigkeiten mit der YuMi-App auf einem Tablet festlegen. Die App wandelt dann die Bewegungen in den entsprechenden

Code für die Steuerung um → 2. Auf diese Weise kann YuMi binnen weniger Minuten neue Aufgaben erlernen, wobei keine spezielle Bedienschulung erforderlich ist. Diese sogenannte Lead-Through-Programmierung ist die Zukunft der Roboterprogrammierung und so einfach, dass jeder sie durchführen kann.

Aufgaben, die für das Lead-Through-Verfahren zu kompliziert sind, können dem Roboter auf traditionelle Weise mithilfe der ABB-Programmiersprache RAPID beigebracht werden.

#### Schnelle Einrichtung

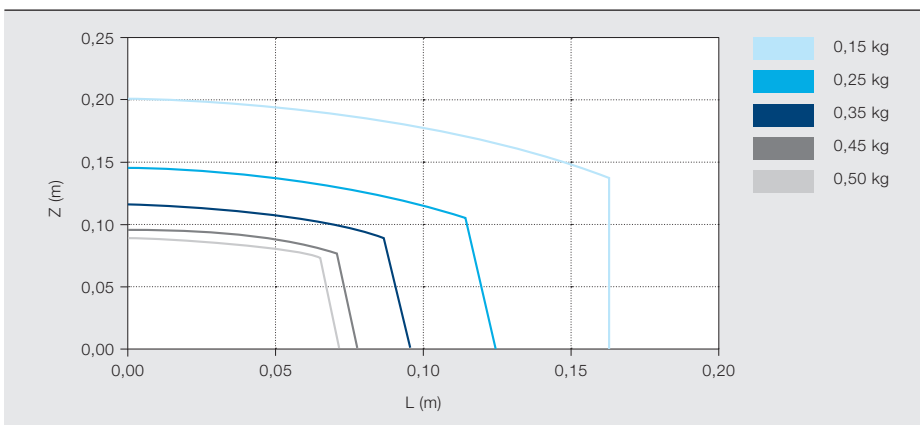
YuMi ist einfach einzurichten. Mit einem Gewicht von nur 38 kg ist er bequem tragbar und kann mittels Montagelöchern einfach und sicher am Arbeitstisch verschraubt werden → 3. Durch das geschlossene Design befinden sich die Kabel, Elektronik und Schläuche im Innern des Roboters, was ein Leitungswirrwarr verhindert und ein Umplatzieren des Roboters erleichtert. Dank der einfachen Programmierung und Einrichtung ist ein Wechsel des Arbeitsbereichs und der Aufgabe schnell gemacht.

#### Vielseitige Möglichkeiten

YuMi ist kompakt – sein Torso hat in etwa die Größe eines menschlichen Oberkörpers –, besitzt aber auch eine große



4 Lastdiagramm von YuMi



5 Hauptmerkmale von YuMi.  
Die Wiederholgenauigkeit beträgt 0,02 mm.

IRB 14000 - 0.5/0.55	
Handhabungskapazität	0,5 kg pro Arm
Reichweite	559 mm
Genauigkeit	0,02 mm
Kundenschnittstelle	Unter dem Fuß
Gewicht	38 kg
Montageart	Tisch
Temperatur	5–40 °C
Schutzart	IP30
Reinraum-/lebensmiteltauglich	Nein

YuMi besitzt ein leichtes, aber festes Magnesiumskelett mit einer Kunststoffummantelung und einer weichen Schutzpolsterung, die unerwartete Zusammenstöße absorbiert.

Reichweite: ca. 70 cm oberhalb und ca. 30 cm unterhalb seiner Montageebene. Die horizontale Reichweite beträgt ca. 55 cm, wobei die Entfernungen von dem zu tragenden Gewicht abhängen → 4. Die sieben Bewegungsachsen der zwei Arme ermöglichen eine große Wendigkeit und Präzision. So ist YuMi in Lage, mit einer Genauigkeit von 0,02 mm und einer maximalen Geschwindigkeit von 1.500 mm/s immer wieder an denselben Punkt im Raum zurückzukehren → 5. Eine Montage mittels Kontaktkraft zwischen beiden Armen ist ebenso möglich wie die gleichzeitige Ausführung von zwei verschiedenen Aufgaben (Multitasking).

YuMi verfügt über eine standardmäßige Werkzeugschnittstelle. Damit er in der Lage ist, die große Vielfalt von Teilen

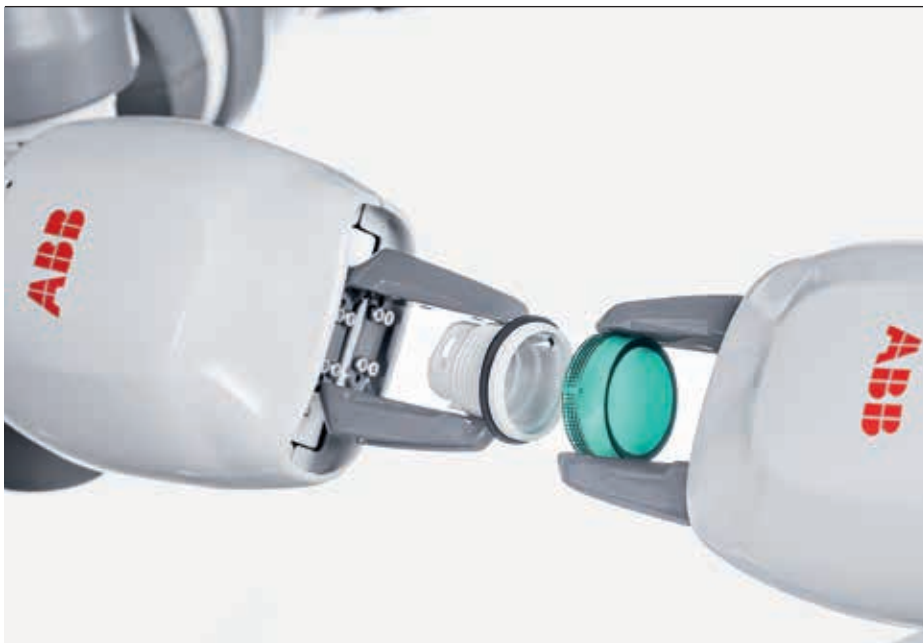
handzuhaben, die heute in der Kleinteilmontage anfallen, kann er mit integrierten, äußerst flexiblen Greifern – Servogreifern, einfachen oder doppelten Vakuumgreifern und Greifern mit integrierter Kamera – ausgestattet werden → 6–7. Dies ermöglicht eine individuelle Anpassung an die Anforderungen der meisten Montageaufgaben. YuMi ist ESD-konform und somit für die Handhabung von elektrostatisch empfindlichen Teilen geeignet.

**Teilezuführung**

Bei der Kleinteilmontage kommt es nicht nur auf Geschicklichkeit und Wendigkeit an – auch eine effektive Zufuhr der für eine bestimmte Aufgabe benötigten Teile ist entscheidend für einen effizienten Betrieb. Um dies zu gewährleisten, hat



6 Dank seiner Genauigkeit, Geschicklichkeit und ESD-Konformität kann YuMi äußerst filigrane und elektrostatisch empfindliche Teile handhaben.



YuMi besitzt keine Quetsch- und Klemmstellen, sodass beim Beugen der Arme nichts zerdrückt werden kann.

7 YuMi kann mit Greifern mit integrierter Kamera, einfachen oder doppelten Vakuumgreifern und Servogreifern ausgerüstet werden.



Lebensqualität, für die Umwelt durch weniger Ausschuss und für den Verbraucher durch eine höhere Produktqualität.

#### Die Zukunft der Automatisierung

Mit der Einführung von YuMi verschiebt ABB die Grenzen der roboterbasierten Automatisierung und verändert die Art der industriellen Prozesse, die mit Robotern automatisiert werden können. YuMi ist das Ergebnis jahrelanger Forschung und Entwicklung und markiert den Beginn einer neuen Ära von kollaborativen Robotern, die in der Lage sind, Seite an Seite mit Menschen zusammenzuarbeiten. Während YuMi speziell für die Kleinteilmontage ausgelegt ist und einige erhebliche Vorzüge bietet, ist er die erste Lösung, die ABB im Hinblick auf eine neue Ära der Mensch-Roboter-Kollaboration entwickelt hat. Dabei sind die Vorteile einer solchen Kollaboration nicht auf eine Branche beschränkt. Tatsächlich kann nahezu jede Branche von kollaborativen Roboterlösungen profitieren.

ABB das fortschrittliche Teilezuführsystem FlexFeeder™ entwickelt. Der FlexFeeder speichert eine große Zahl von Teilen mit Größen zwischen 3 mm und 30 mm in einem Behälter. Da eine direkte Entnahme der Teile aus dem Behälter ein äußerst kompliziertes dreidimensionales Problem darstellt, verwandelt es der FlexFeeder in einen wesentlich einfacheren zweidimensionalen Pickvorgang. Dabei werden die Teile aus dem Behälter auf eine ebene Fläche gefördert, wo sie von YuMi dank seiner mit integrierten Kameras ausgestatteten Greifer problemlos lokalisiert und aufgenommen werden können.

#### Vorteile

Hersteller, die YuMi einsetzen, profitieren von einer schnelleren Produktion, einer

höheren Produktqualität, weniger Ausschuss, einer höheren Effizienz und Flexibilität sowie einer hohen Kapitalrendite. Während YuMi speziell entwickelt wurde, um die Flexibilitäts- und Agilitätsanforderungen der Unterhaltungselektronikindustrie zu erfüllen, kann er dank seiner zwei Arme und flexiblen Greifer, universellem Teilezuführsystem, kamerabasierter Teileerkennung, Lead-Through-Programmierung und präziser Bewegungssteuerung neuester Generation auch in jeder anderen Kleinteilmontageumgebung eingesetzt werden.

YuMi ist nicht nur für den Hersteller, sondern für die gesamte Wertschöpfungskette von Nutzen: für den Arbeiter in der Produktion durch eine sicherere Arbeitsumgebung und eine höhere

**Phil Crowther**

ABB Robotics

Shanghai, China

phil.crowther@cn.abb.com



# Der Blick aufs Ganze

Kostengünstige  
Maximierung der  
Zuverlässigkeit von  
Transformatoren

JOHN VINES, BERNARD BANH, CRAIG STIEGEMEIER, POORVI PATEL, LUIZ V. CHEIM – Viele Betreiber von Transformatoren haben mit knappen Instandhaltungsbudgets und schwindenden Expertenressourcen zu kämpfen. Gleichzeitig gilt es, neue, strengere Vorschriften und höhere Erwartungen seitens der Aktionäre zu erfüllen. Diese neuen Gegebenheiten verlangen eine frische Herangehensweise an das Management von Betriebsmitteln. Viele der bisher genutzten Verfahren zur Instandhaltung von Transformatoren sind zeitbasiert. Da jedoch nicht alle Einheiten den gleichen Instandhaltungsaufwand erfordern, kann dies zu unnötigen Wartungsarbeiten führen. Ein weitaus effizienterer Ansatz ist die zustandsorientierte Instandhaltung, bei der die Wartungsarbeiten für die einzelnen Einheiten nach Risiko und Wichtigkeit priorisiert werden. So wird das Geld dort eingesetzt, wo es notwendig ist. Bleibt nur die Frage, mit welchen Verfahren die richtige Priorisierung der Wartungsarbeiten sichergestellt wird. Die Antwort liefert die Datenanalyse.





Viele Unternehmen verlassen sich bei der Instandhaltung ihrer Betriebsmittel Jahr für Jahr auf die gleichen Experten → 1. Viele dieser Experten gehen jedoch bald in den Ruhestand und werden nicht ersetzt. Dieser Personenschwund ist dem allgemeinen Trend zur Kostensenkung geschuldet, der gleichzeitig auch die Instandhaltungsbudgets schrumpfen lässt.

Zwar würden viele Firmen diese Wissenslücken gern durch Überwachung und Datenanalyse schließen, doch angesichts der großen Menge und Komplexität der Daten sind selbst die engagiertesten unter ihnen schnell überfordert. Deshalb wird allgemein nach Möglichkeiten gesucht, um die riesigen Datenmengen zu bewältigen und den Verlust an Expertenwissen auszugleichen.

#### Zustandsindex für Transformatoren

Eine Möglichkeit ist die Berechnung eines sogenannten Zustandsindex für die Transformatoren. Für dieses Konzept gibt es verschiedene Ansätze. Die meisten basieren auf einer Liste von technischen Para-

metern, die Experten für den Betrieb und den Funktionszustand von Transformatoren entscheidend halten. Jedem der Parameter wird eine Gewichtung zugeordnet, um seine relative Bedeutung festzulegen. Dann wird der Zustand jedes Parameters beurteilt und durch einen Wert (z. B. zwischen null und 100) ausgedrückt. Die einzelnen Werte werden mit den jeweiligen Gewichtungen multipliziert und das Ergebnis durch das Produkt aus der Summe aller Gewichtungen und dem Höchstwert jedes Parameters dividiert.

Dieser Ansatz hat jedoch gewisse Nachteile:

- Die von den Experten gewählten Gewichtungen sind subjektiv und können von Experte zu Experte unterschiedlich ausfallen.

- Schlecht gewählte Gewichtungen können die Bedeutung anderer Parameter oder Funktionen überschätzen, wodurch mögliche Probleme mit gering gewichteten Parametern möglicherweise unterschätzt werden.

## Das ideale System bestimmt die relative Bedeutung des Betriebsmittels und das Risiko eines Ausfalls.

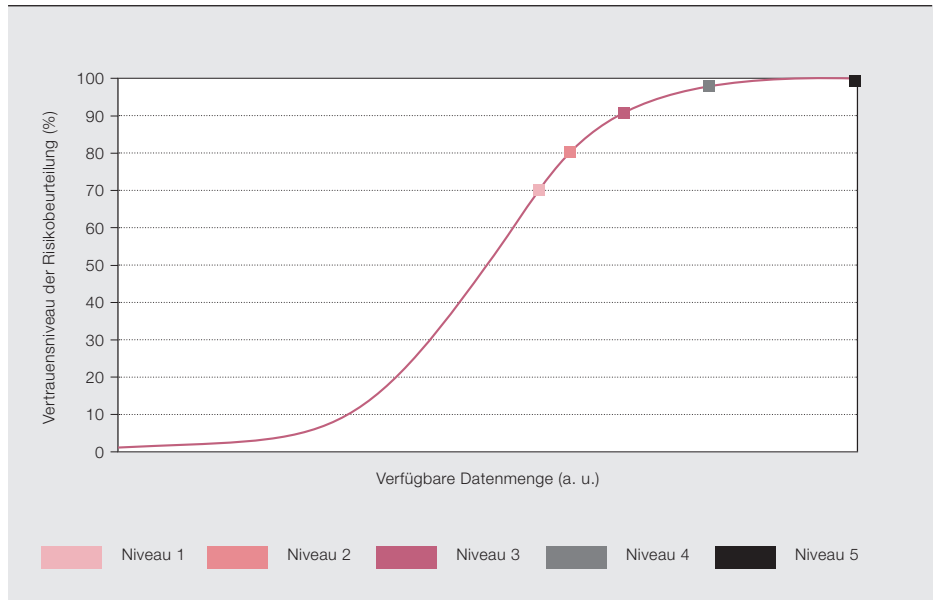
- Typischerweise fehlt eine robuste Sensitivitätsanalyse – die meisten Ansätze gehen nicht so weit, dass echte Fälle getestet und mit den Ergebnissen des Verfahrens verglichen werden.
- Interessanterweise führt die beschriebene Methode bei einer beliebigen Wahl der Gewichtungen immer zum gleichen Ergebnis, wenn alle Parameter den Höchstwert haben.

#### Titelbild

Durch eine intelligente Herangehensweise an die Instandhaltung von Transformatoren können Kosten gesenkt und schrumpfende Expertenressourcen besser genutzt werden. Wie kann die Datenanalyse dabei helfen, optimale Ergebnisse zu erzielen?

Wichtig ist, dass das System Empfehlungen und Ratschläge zur Risikominderung gibt, damit der Transformator in einem guten Zustand gehalten werden kann.

## 2 Mit der verfügbaren Datenmenge steigt auch das Vertrauensniveau der Beurteilung.



Eine ideale Lösung sollte in der Lage sein, große Datenmengen aus vielen verschiedenen Quellen zu erfassen und zu analysieren. Hier ist Flexibilität gefragt, da die Daten von einer Vielzahl verschiedener Sensoren, Überwachungseinheiten und Systeme kommen. Zudem kann ihre Erfassung stündlich, täglich, monatlich oder auch jährlich erfolgen. Nachdem die Daten sortiert wurden, sollten sie mithilfe von Expertenalgorithmen analysiert werden, die das System als Ganzes und nicht nur die einzelnen Teile betrachten.

### Regelmäßige Checkups

Ein jährlicher Gesundheits-Checkup hilft beim Menschen dabei, Krankheiten rechtzeitig zu erkennen und das Wohlbefinden zu erhalten. Dieser Ansatz hat sich auch bei Transformatoren als äußerst wirksam erwiesen. Um den Zustand eines Transformators zu beurteilen, werden Informationen gesammelt, ausgewertet und mit früheren Daten verglichen, um Zustandsentwicklungen zu erkennen. Anschließend wird eine Diagnose gestellt. Das ideale System bestimmt außerdem die relative Bedeutung des Betriebsmittels und das Risiko eines Ausfalls. Wichtig ist auch, dass das System Empfehlungen und Ratschläge zur Risikominderung gibt, die dabei helfen, den Transformator in einem guten Zustand zu halten.

### Vertrauensniveau

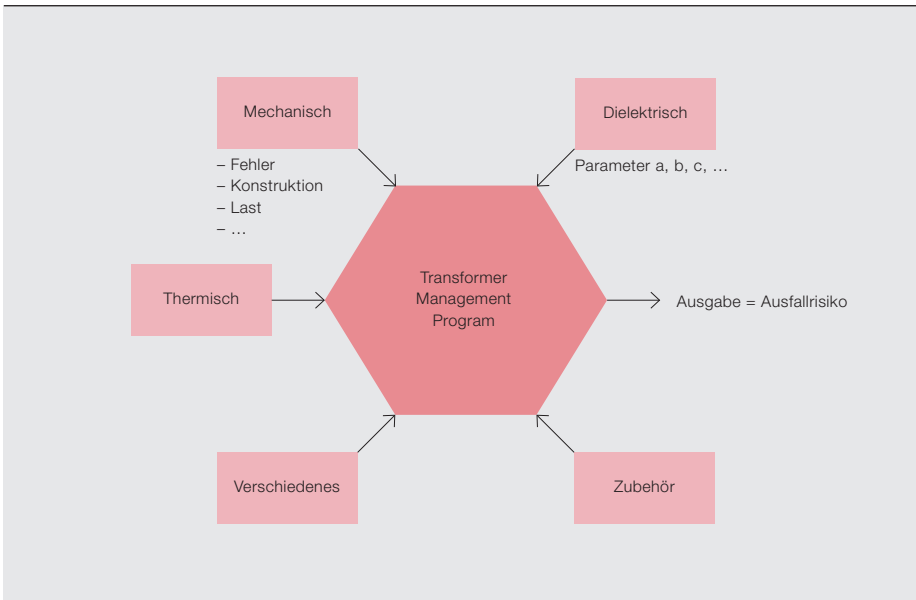
Die anfängliche Zustandsbeurteilung muss sehr gründlich sein und zu einer Berechnung des Ausfallrisikos für die Einheit führen → 2. Statt einfach nur die

Zustandsindizes einzelner Merkmale aufzuführen und zu summieren, sollten zur Beurteilung der funktionalen Aspekte des Transformators und zur Betrachtung des Gesamtbilds Fachexperten (Subject Matter Experts, SMEs) herangezogen werden.

Als Ausgangspunkt sollten folgende Daten erfasst werden:

- Informationen auf dem Typenschild, Gasgehaltsanalyse (DGA) und Ölqualitätsparameter
- Belastung, Windungsverhältnis und Leistungsfaktor der Isolation
- Durchführung – Kapazität und Leistungsfaktor, Zustand der Keramik, Wärmebild, Ölfüllstand, Typ und Alter
- Laststufenschalter – Typ, Wartungsdaten, DGA und Zustand
- Zustand von Kühl- und Ölkonservierungssystem, Ölfüllstand im Kessel und Alter des Zubehörs
- Integrität des Kessels, Leckagen, Rost, Lackierung, Zustand des Hauptschaltchanks und Steuerungen
- Schutz (Buchholz-Relais, Überspannungsableiter, Überdruckventile usw.) und Produkthistorie
- Ausfalldaten von Schwestereinheiten, Design und Wiedereinschaltungsverfahren
- Spezielle Testergebnisse wie Furanbestimmung, Polymerisierungsgrad (DP), feldinduzierte Spannungen, Frequenzganganalysen (Sweep Frequency Response Analysis (SFRA), Dielectric Frequency Response (DFR)) usw.
- Geomagnetisch induzierte Ströme (GIC)





Die Algorithmen sind in der Lage, die funktionalen Aspekte eines Transformators zu analysieren und anschließend in die fünf Funktionsbereiche des MTM-Programms zusammenzufassen.

Die erfassten Daten können mithilfe des ABB Mature Transformer Management Program (MTM-Programms) analysiert werden. Das MTM-Programm teilt die Daten in fünf Funktionsgruppen – thermisch, mechanisch, dielektrisch, Zubehör und Verschiedenes – ein, um eine vollständige Zustandsbeurteilung zu ermöglichen → 3–4. Für einzelne Transformatoren werden Empfehlungen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit gegeben. Abgedeckt werden Hauptfunktionen von Transformatoren wie typische Belastungen, Netzverträglichkeit sowie Kurzschluss-, Wärme- und Durchschlagfestigkeit.

Dieser Ansatz stellt einen engen Zusammenhang her zwischen den Zuständen mit der stärksten Belastung, den Anforderungen für jeden einzelnen Transformator und der Bedeutung einzelner Parameter für die Sicherstellung der Funktionalität. Im Anschluss wird das Ausfallrisiko für jeden spezifizierten Transformator der Flotte berechnet. Nach über einem Jahrzehnt und der Beurteilung von knapp 10.000 Transformatoren weltweit hat sich das Programm für viele Betreiber von Transformatoren in verschiedenen Anwendungen als nützlich erwiesen.

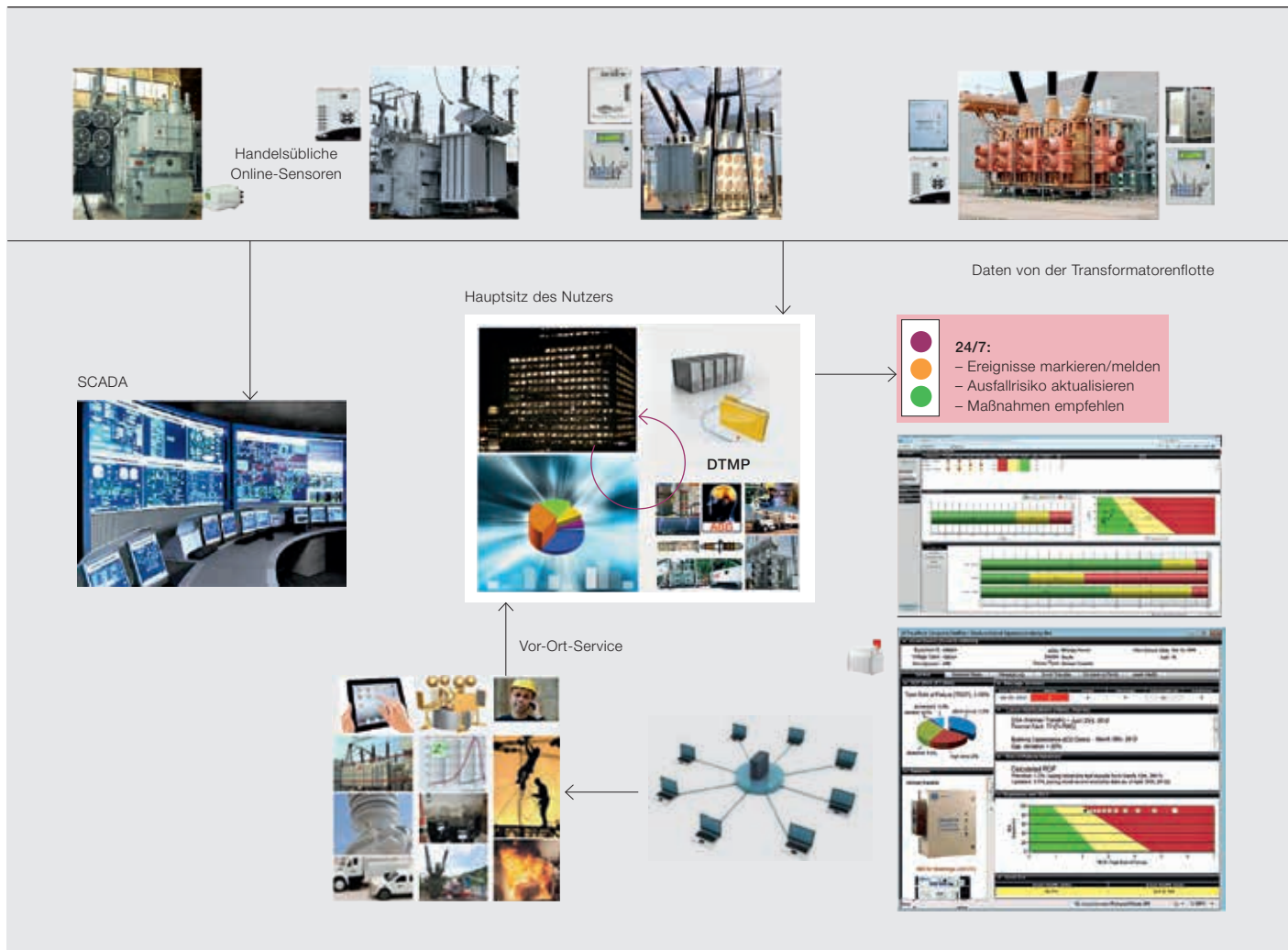
Das Programm liefert eine Momentaufnahme vom Gesamtzustand des Transformators. Da sich Zustände verändern oder neue Daten hinzukommen können, müssen das Ausfallrisiko und die Instandhaltungs- bzw. Betriebsempfehlungen täglich aktualisiert werden. Um die sich ständig verändernden Daten zu bewälti-

gen, hat ABB das Dynamic Transformer Management Program (DTM-Programms) entwickelt. Die Algorithmen des DTM-Programms sind in der Lage, die funktionalen Aspekte eines Transformators zu analysieren und anschließend in die fünf Funktionsbereiche des MTM-Programms zusammenzufassen. Ein Expertensystem-Algorithmus kann dann den Transformator als Ganzes und nicht nur seine einzelnen Komponenten betrachten, wie es beim Zustandsindex der Fall ist → 5–6. Dieses Expertensystem betrachtet die gesamte Flotte und ist auch in der Lage, nach Zusammenhängen zwischen gefundenen Problemen zu suchen.

Einem ähnlichen Ansatz folgend haben die SMEs von ABB auch Algorithmen für Batterien und Leistungsschalter entwickelt. Viele weitere Algorithmen für andere kritische Betriebsmittel in der Industrie befinden sich in der Entwicklung. Der Schlüssel für den Erfolg dieser Algorithmen liegt in der Einbindung von SMEs in der Designphase. Die Transformatoralgorithmen sind äußerst flexibel und können in mehrere Softwareplattformen integriert werden. Ganz gleich, welche Datenquellen und Softwaresysteme vorhanden sind, es gibt eine Lösung, um eine zustandsorientierte Instandhaltung zu unterstützen.

#### Asset Health Center

Eine dieser Lösungen ist das Asset Health Center (AHC). Das AHC ist das neueste Online-Angebot von ABB für die Zustandsüberwachung von Betriebs-



Ein Expertensystem-Algorithmus kann dann den Transformator als Ganzes und nicht nur seine einzelnen Komponenten betrachten, wie es beim Zustandsindex der Fall ist.

mittelflotten und kombiniert das Know-how von ABB im Bereich der operativen Technologie (OT) und der Informationstechnologie (IT).

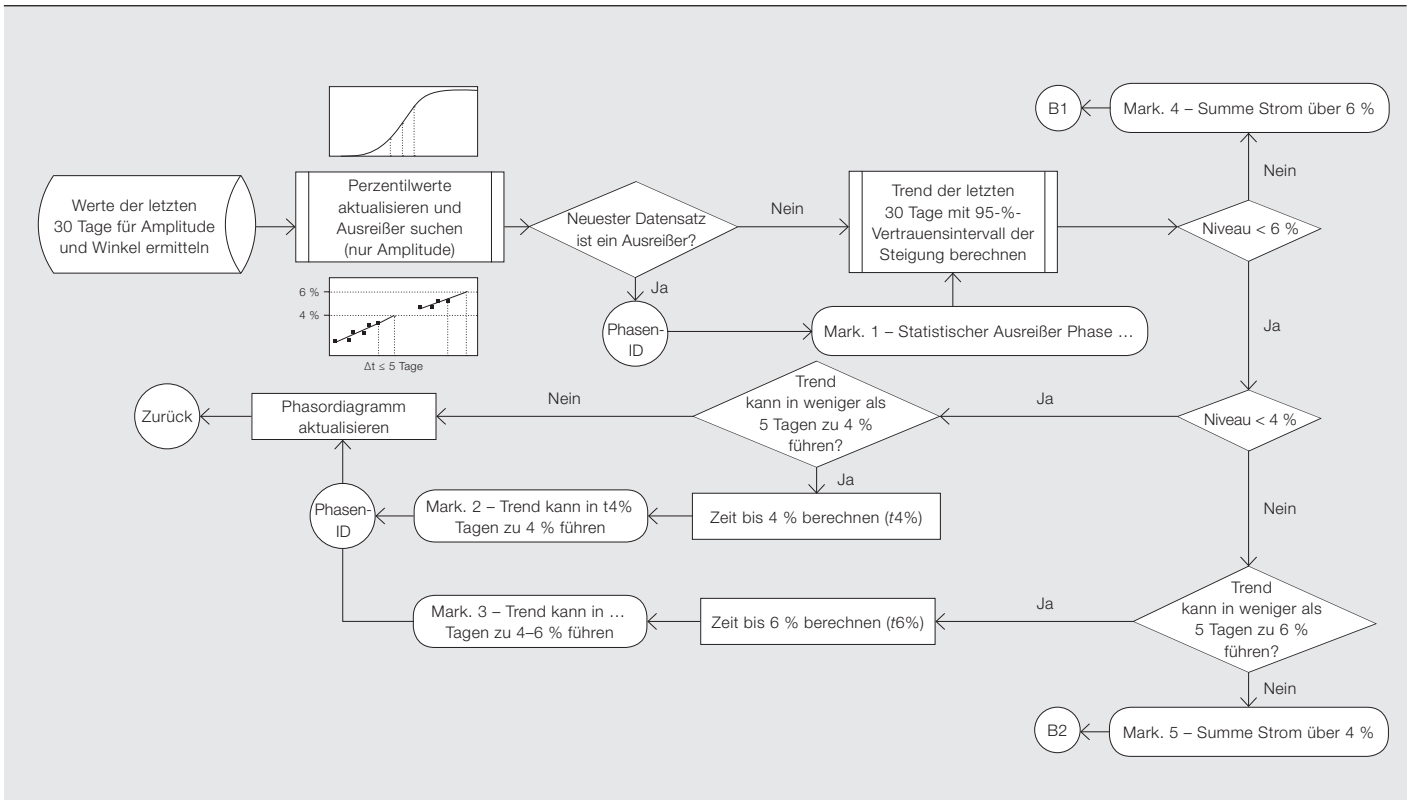
Nach einer Ausgangsbeurteilung führt die Software täglich anhand von Online-Sensordaten und/oder manuell eingegebenen traditionellen Offline-Testdaten automatische Zustandsbeurteilungen durch und liefert Expertenempfehlungen auf der Grundlage dieser Analyse. Weitere Funktionen sind Zustandsüberwachung, Ausfallrisiko, Trendanalysen, Familienvergleiche, E-Mail- und SMS-Alarme, Berichtsoptionen und Eingaben zur Flottenskalierbarkeit.

Übersichtliche und bedienerfreundliche Dashboard-Anzeigen liefern einen sofortigen Überblick über den Zustand der Transformatorenflotte. Ampeldarstellungen (grün, gelb, rot) ermöglichen ein schnelles Erkennen von Einheiten oder Bereichen, die eine erhöhte Aufmerksamkeit erfordern.

Die SMEs von ABB haben auch Algorithmen für Batterien und Leistungsschalter entwickelt. Weitere Algorithmen für andere kritische Betriebsmittel befinden sich in der Entwicklung.

So können die für die Instandhaltung vorgesehenen Gelder und Ressourcen dort eingesetzt werden, wo sie am nötigsten gebraucht werden.





Vor allem hilft dies dabei, ungeplante Ausfälle zu verhindern. Außerdem ermöglicht die Bedienerschnittstelle ein Herunterbrechen der Informationen auf die Sensordaten eines einzelnen Transformators. Wenn sich die Zustände über ein vordefiniertes Maß hinaus verschlechtern, können Benutzer automatisch per E-Mail oder SMS informiert werden.

Alternde Betriebsmittel, ein steigender Energiebedarf und die Notwendigkeit, ungeplante Ausfälle zu verhindern, stellen Energieversorgungsunternehmen und Industriebetriebe auf der ganzen Welt vor große Herausforderungen. Während Instandhaltungsbudgets und Expertenressourcen aufgrund finanzieller Einschränkungen immer knapper werden, bleibt die Forderung nach einer höheren Kapitalrendite unverändert bestehen. Instandhaltungsmanager, die sich mit diesen Anforderungen konfrontiert sehen, sollten Beurteilungen, Sensoren, Datenanalysen und Software nutzen, um eine zustandsorientierte Instandhaltungsplanung zu implementieren. Diese Methoden ermöglichen ein besseres Verständnis der Risiken von Betriebsmitteln und stärken das Vertrauensniveau des Ist-Zustands alternder Anlagen.

**Fehler vermeiden, Zuverlässigkeit und Vorhersagbarkeit erhöhen**

Der Expertensystem-Algorithmus des DTMProgram von ABB liefert Empfehlungen zur Optimierung der Instandhaltung und des Betriebs von Transformatoren. Durch Priorisierung von Wartungsarbeiten können finanzielle Mittel gezielt dort eingesetzt werden, wo sie benötigt werden. Die Vermeidung von Ausfällen und die Minderung von Risiken durch zustandsorientierte Instandhaltung, strukturierte und priorisierte Austauschpläne und die Nutzung von Sensoren zur echtzeitnahen Datenerfassung helfen der Industrie dabei, eine hohe Zuverlässigkeit, niedrigere Lebenszykluskosten und eine optimierte Gesamtleistung sicherzustellen und somit die Anlagenrendite für ihre Transformatoren zu maximieren. Das Ergebnis der Datenanalyse hilft bei der Priorisierung von Wartungsmaßnahmen für die gesamte Flotte. Dadurch, dass unnötige Servicearbeiten an Betriebsmitteln in einem guten Zustand vermieden und stattdessen wichtigere Betriebsmittel mit höherem Risiko behandelt werden, werden Aktionäre zufriedengestellt und die Erfüllung neuer gesetzlicher Vorschriften unterstützt.

Der Schlüssel für den Erfolg dieser Algorithmen liegt in der Einbindung von Fachexperten in der Designphase.

- John Vines**
  - Bernard Banh**
  - Craig Stiegemeier**
  - Poorvi Patel**
  - Luiz V. Cheim**
- ABB Power Transformers  
 St. Louis, MO, USA  
 john.a.vines@us.abb.com  
 bernard.banh@us.abb.com  
 craig.stiegemeier@us.abb.com  
 poorvi.patel@us.abb.com  
 luiz.v.cheim@us.abb.com

# Geschickte Lastverteilung

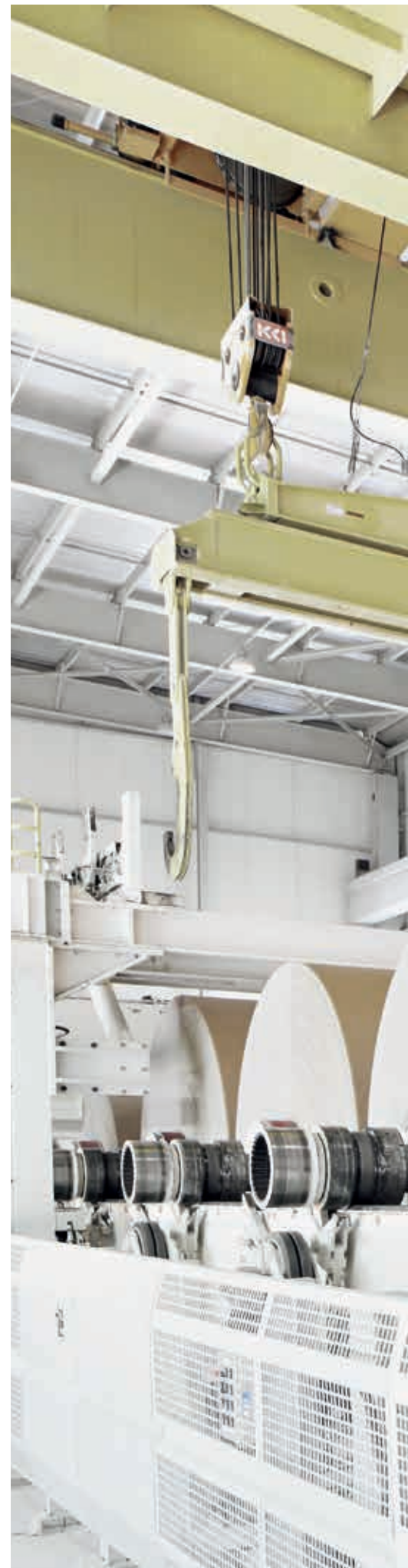
## Energiekosten durch flexible Produktion sparen

IIRO HARJUNKOSKI, LENNART MERKERT, HUBERT HADERA, ANTTO SHEMEIKKA, DRAGOLJUB GAJIC, LUCA ONOFRI – Viele energieintensive Branchen wie die Stahl-, Zellstoff- und Papier- oder Zementindustrie müssen die Auswirkungen steigender und schwankender Energiepreise auf die tägliche Produktion bewältigen. Neue Kollaborationskonzepte, die sich den Industrien durch intelligente und flexible Stromnetze (Smart Grids) bieten, ermöglichen eine erhebliche Reduzierung der Produktionskosten durch optimales Timing des Stromverbrauchs. Hierzu muss der Produktionsprozess so flexibel gestaltet werden, dass das Unternehmen in der Lage ist, Strom zu kaufen, wenn dieser günstig ist – und vielleicht sogar mit Gewinn wieder zu verkaufen, wenn der Bedarf am größten ist. ABB hat neue Verfahren für dieses Geschäftskonzept untersucht und entwickelt.

---

### Titelbild

Durch Verschiebung der Produktion auf Zeiten, in denen Energie günstiger ist, können in energieintensiven Industrien erhebliche Einsparungen erzielt werden. Wie können die vielen Variablen, Randbedingungen und branchenspezifischen Aspekte bei der Entwicklung eines optimierten Modells berücksichtigt werden?

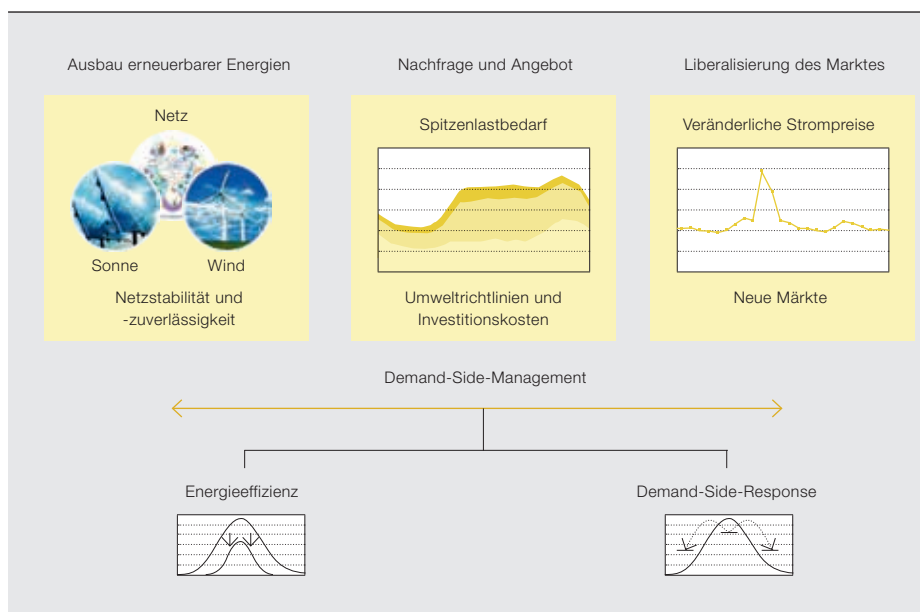






Großverbraucher haben damit begonnen, Energieprognosen in ihre Produktionsplanung einzubinden.

## 1 Konzept und Motivation für Demand-Side-Management



Werden herkömmliche stabile und steuerbare Energiequellen durch schwankende erneuerbare Energien ersetzt, unterliegen auch das Energieangebot und der Preis entsprechenden Schwankungen. Daher ist der Einsatz von Marktwerkzeugen zum Kauf und Verkauf von Strom für Großverbraucher fast zu einer Notwendigkeit geworden. Da sich der Strompreis direkt auf die Produktionskosten auswirkt, haben Großverbraucher damit begonnen, Energieprognosen in ihre Produktionsplanung einzubinden. Dieses Konzept, verbunden mit dem Aspekt der Energieeffizienz, wird als Demand-Side-Management bezeichnet.

Im Gegensatz zu Energieeffizienzstrategien, bei denen es darum geht, die gleiche Produktionsleistung mit weniger Energie zu erreichen, zielt Demand-Side-Response auf eine gewinnbringende zeitliche Verschiebung der Last ab → 1. In der Praxis bedeutet dies, dass eine Industrieanlage ihre Produktion an die Energiekostensituation anpassen muss. Stehen Informationen zu zukünftigen Strompreisen zur Verfügung – und davon wird hier ausgegangen – können diese bei der kurzfristigen Planung vieler Prozesse berücksichtigt werden.

### Energiemanagementlösung

ABB bietet bereits eine Lösung zur Optimierung des Energieportfolios für einen gegebenen Produktionsplan. cpmPlus Energy Manager ist seit über zehn Jahren erhältlich und deckt sowohl die Energieumwandlung (z. B. Brennstoff in Energie) als auch die Beschaffung von verschiedenen Märkten und einige Produktionsplanungsentscheidungen – insbesondere für kontinuierliche Prozesse – ab. Die Lösung wurde als Bestandteil der kollaborativen Produktionsmanagement-Lösung (CPM) von ABB bei einer Vielzahl von Kunden – u. a. aus der Zellstoff- und Papier-, Metall- und Bergbauindustrie – installiert und erfolgreich eingesetzt.

→ 2 zeigt die Energy-Manager-Lösung für eine Anlage zur Herstellung von thermomechanischem Holzstoff (TMP). Die Produktionslinien sind im oberen Diagramm und der Füllstand des Faserstofftanks im mittleren Diagramm dargestellt. Mithilfe einer mathematischen Optimierung werden gleichzeitig alle energieverbrauchenden und -erzeugenden Einheiten unter dem Gesichtspunkt eines möglichen Kaufs oder Verkaufs von Energie aus oder in das Stromnetz auf der Grundlage aktueller Preise betrachtet. Der Stromverbrauch der drei TMP-Linien ist im Balkendiagramm im unteren Teil von → 2 und der veränderliche Strompreis als gelbe Linie dargestellt.

Dieses Beispiel zeigt, wie eine CMP-Lösung Informationen von verschiedenen Quellen sammeln, verknüpfen und unter

Berücksichtigung der Stromkosten die kostengünstigsten Produktionsstrategien ermitteln kann. Da die Lösung auch andere Produktionseinheiten umfasst, entscheidet sie, wann welche Produktionslinie betrieben wird, wobei z. B. der gesamte nachgelagerte Dampfbedarf, die Kapazität und die Kosten alternativer Dampfquellen, der Produktionsplan der Papiermaschinen sowie die minimalen und maximalen Produktionsgrenzen jeder Refiner-Linie berücksichtigt werden.

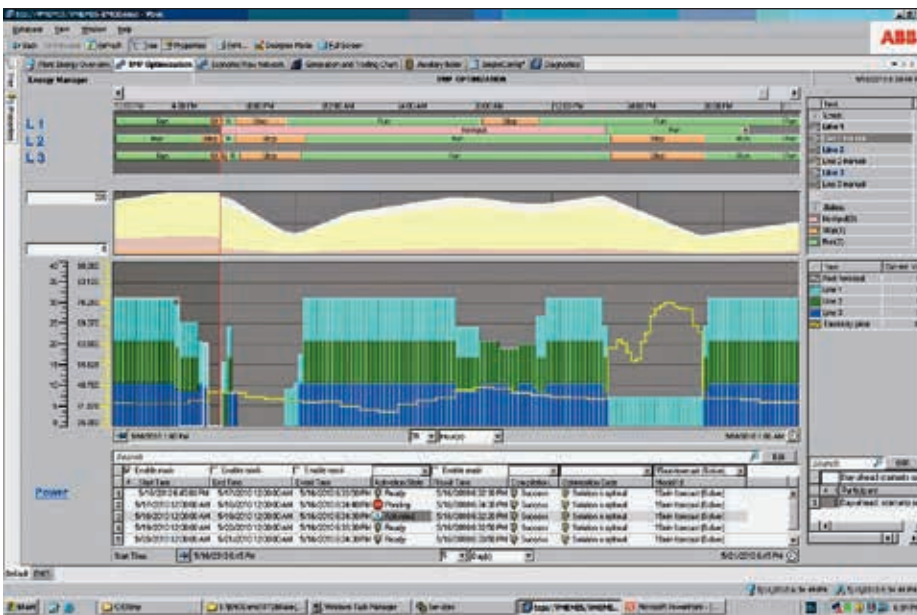
### Ganzheitliche Optimierung

Beim TMP-Beispiel wird davon ausgegangen, dass ein zumindest teilweise vorher festgelegter Produktionsplan existiert → 3a. Die wissenschaftliche Herausforderung besteht in der gleichzeitigen Optimierung des Produktionsplans und der Strombeschaffungsstrategie → 3b. Die Grundidee ist eine optimale Planung der Produktion unter Berücksichtigung von Aspekten der Regelung, Einsatzplanung und Versorgungskette. MILP-Verfahren (Mixed-Integer Linear Programming) stellen eine äußerst vielversprechende Möglichkeit zur Entwicklung von ganzheitlichen Optimierungslösungen für Probleme dieser Art mit teilweise konkurrierenden Zielen dar. MILP-Löser haben sich erheblich verbessert und sind nun in der Lage, Probleme zu lösen, die wesentlich umfangreicher sind als noch vor zehn Jahren.

Das Problem der gleichzeitigen Optimierung von Energiemanagementaspekten und Produktionsplanungsanforderungen



## 2 Energiemanagementlösung für eine TMP-Anlage. Zu den Strompreisspitzen werden alle Linien angehalten.



Die Herausforderung besteht in der gleichzeitigen Optimierung des Produktionsplans und der Strombeschaffungsstrategie.

ist noch nicht vollständig gelöst. Zurzeit sind Forscher auf der Suche nach Möglichkeiten, dies in realistischen Produktionsumgebungen umzusetzen. ABB hat in Zusammenarbeit mit einem Stahlunternehmen einige praktikable Konzepte entwickelt, die zurzeit live in der Produktion getestet werden.

### Planung des Stahlherstellungsprozesses

Die Produktionsplanung in einem Stahlwerk ist keine leichte Aufgabe, was zum Teil an den extremen Verarbeitungs- und Werkstofftemperaturen liegt. Jede Verzögerung in der Produktion bewirkt ein Abkühlen des Materials, welches später wieder erhitzt werden muss. Somit herrscht in der Branche ein starker Bedarf an einer automatischen Optimierung der Produktionsplanung. Darüber hinaus gilt es bei der Implementierung noch weitere Aspekte zu berücksichtigen wie etwa die Möglichkeit verschiedener Anlagenkonfigurationen und Produktportfolios, geeignete grafische Benutzeroberflächen (GUIs), die Integration mit anderen IT-Systemen wie ERP- (Enterprise Resource Planning), Energiemanagement- und Prozessleitsysteme. Ohne all diese Aspekte kann selbst das ausgeklügeltste Optimierungsmodell in keiner realen Produktionsumgebung implementiert werden.

### Industrielles Demand-Side-Management

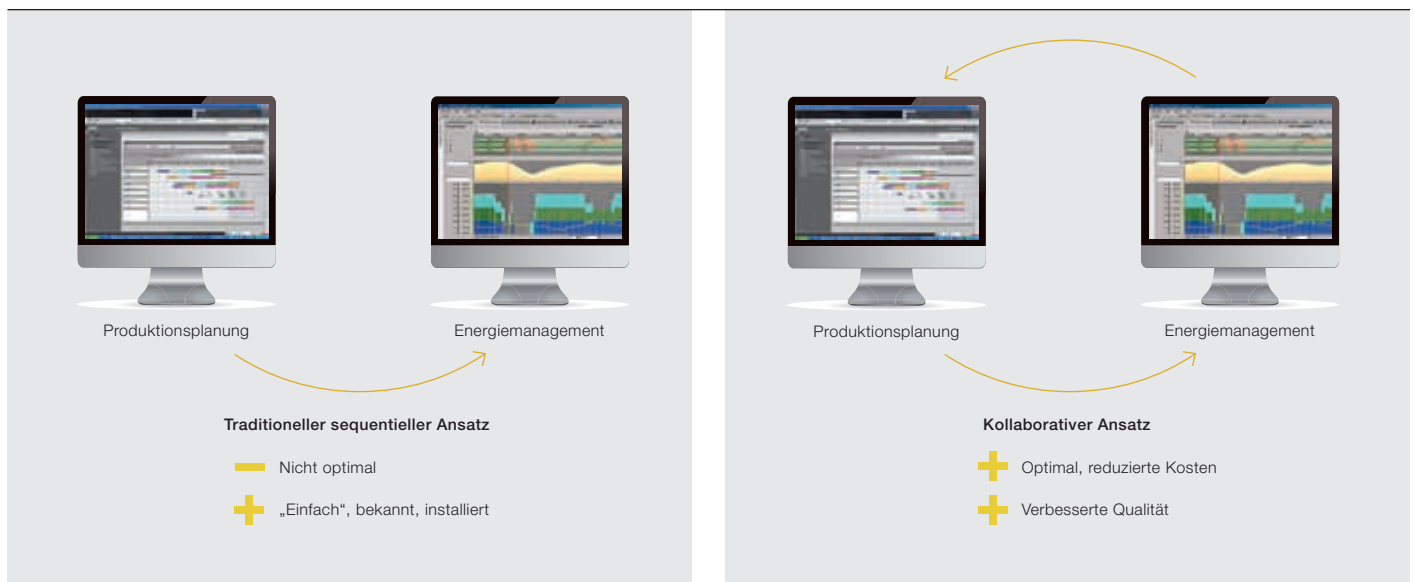
ABB hat neue Konzepte entwickelt, die ein industrielles Demand-Side-Management (iDSM) durch automatische Optimie-

rung der Produktionsplanung im Hinblick auf die Stromkosten ermöglichen. Der erste Schritt zur iDSM-Lösung bestand darin, die Verwendung von monolithischen Modellen für die rechts in → 3 dargestellten Integrationskonzepte zu untersuchen.

→ 4 zeigt die Grundidee, bei der die ursprünglichen Planungsinformationen um ein zusätzliches Zeitraster ergänzt werden, um den Stromverbrauch in jedem der dadurch entstehenden Zeitintervalle zu überprüfen. Der Energiepreis für jedes Zeitintervall (15 bis 30 min) wird vom Stromanbieter bzw. Strommarkt bestimmt. Theoretisch kann diese ganzheitliche modellbasierte Optimierung zu einem sogenannten globalen Optimum führen, d.h. die bestmögliche Lösung im Hinblick auf die Produktions- und Stromkosten. Allerdings sind ganzheitliche Modelle häufig kompliziert oder können nicht innerhalb einer angemessenen Zeit gelöst werden, weshalb Verfeinerungen erforderlich sind.

### Verfeinerung der Modelle

In Produktionsprozessen, die mehrere Produktionsschritte umfassen, wie z.B. die chargenorientierte Stahlherstellung, ist typischerweise nicht die gesamte Ausrüstung durchgängig belegt. Dies ermöglicht eine gewisse Flexibilität zur Anpassung der Produktion an die Anforderungen des Energiemanagements. Darüber hinaus verfügen mehrstufige Produktionsprozesse normalerweise über Pufferspeicher zum vorübergehenden Speichern von Rohmaterial, Zwischen- und Endprodukten.



3a Hierbei wird von einem zumindest teilweise vorher festgelegten Produktionsplan ausgegangen.

3b Hierbei werden der Produktionsplan und die Strombeschaffungsstrategie gleichzeitig bzw. iterativ optimiert.

MILP-Löser haben sich erheblich verbessert und sind nun in der Lage, Probleme zu lösen, die um einiges umfangreicher sind als noch vor zehn Jahren.

Bei der Stahlherstellung sind die Zwischenprodukte sehr heiß, sodass eine unzureichende Koordinierung der nachfolgenden Produktionsschritte zu einem Energieverlust durch Abkühlen führt. Eine weitere Randbedingung ist, dass elektrische Großverbraucher ihren voraussichtlichen Lastverlauf normalerweise im Voraus vereinbaren und für Abweichungen Strafen zahlen müssen.

Im Rahmen der Arbeit von ABB wurde das zeitkontinuierliche (exakte) Planungsmodell für das Stahlwerk dahingehend verfeinert, dass es sowohl den Strompreis als auch Abweichungen von einer vereinbarten Lastkurve berücksichtigt. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass die Energiebetrachtungen durch Hinzufügen neuer Entscheidungsvariablen zur Abbildung des Stromverbrauchs für jedes durch das Raster definierte Zeitintervall in das ursprüngliche Planungsmodell eingebunden werden können. Das Ergebnis sind praktikable Lösungen mit deutlichem Energieeinsparungspotenzial. Allerdings ist dieser Grundansatz für komplexere Fälle nicht geeignet. Daher werden verschiedene alternative Ansätze einschließlich anderer Modellierungskonzepte – z. B. Resource-Task-Network (RTN) – und Zerlegungsalgorithmen betrachtet.

#### Energiepreis- und Nutzungsszenarien

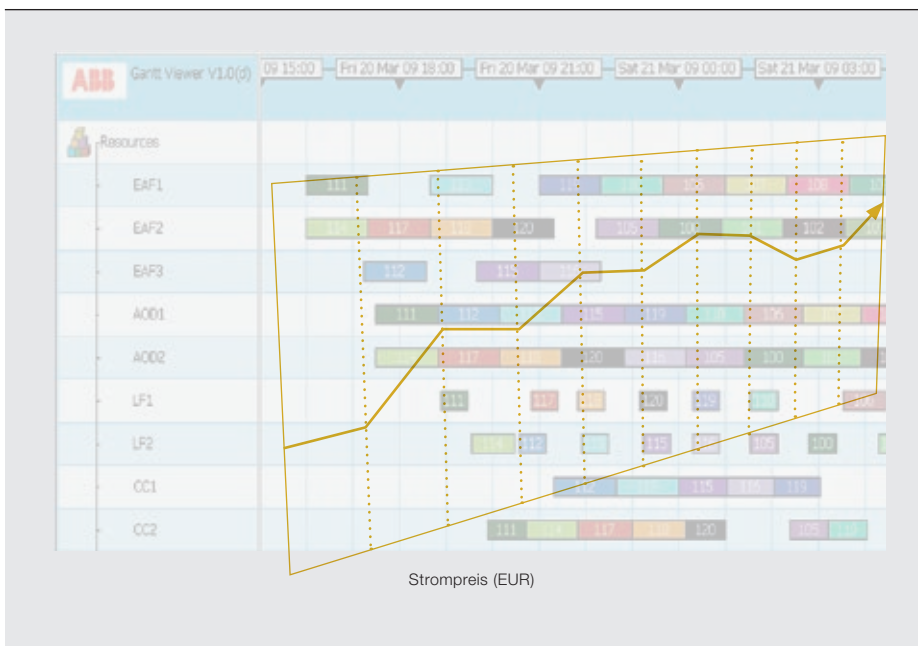
Auf der Grundlage realistischer Daten wurde eine hypothetische Fallstudie durchgeführt, um zu untersuchen, wie

stark sich drei verschiedene Energietarifszenarien auf die Energiekosten für ein typisches 24-Stunden-Planungsproblem auswirken → 5. Bei den Szenarien wird jeweils davon ausgegangen, dass eine feste Menge Strom zu einem bekannten Preis im Rahmen eines Grundlastvertrags eingekauft wird. Die Gesamtenergiekosten können durch den Verkauf überschüssiger Energie reduziert werden. Der Aspekt des vereinbarten Lastverlaufs wird ebenfalls berücksichtigt.

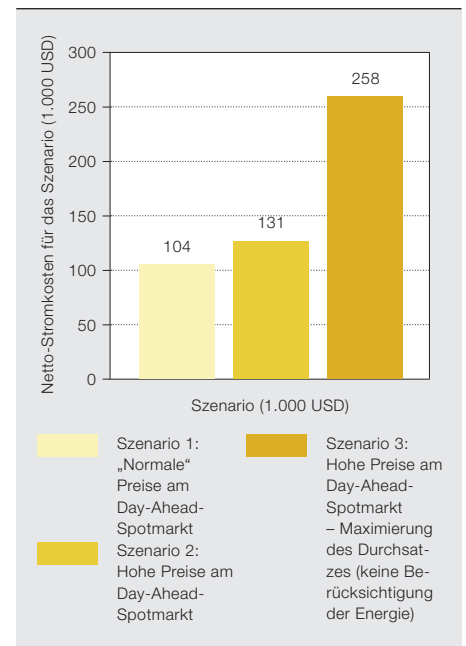
Das erste Szenario stellt einen Tag mit „normalen“ Strompreisen am volatilen Day-Ahead-Markt dar. Bei einer energiepreisorientierten Planung liegen die Netto-Stromkosten bei rund 110.000 USD. Das zweite Szenario verwendet witterungsbestimmte Preise, was zu zusätzlichen Kosten von 27.000 USD führt. Beim dritten Szenario werden jegliche Energiepreisaspekte ignoriert, d.h. nur der Produktionsdurchsatz wird optimiert, was zu einer Verdoppelung der Kosten gegenüber dem zweiten Szenario führt. Dies zeigt, wie viel das Werk an einem Tag mit extremen Preisschwankungen durch kollaborative Planung und Energieoptimierung einsparen könnte.

Bei dieser Fallstudie trägt die energieorientierte Planung zu einer erheblichen Reduzierung der Energiekosten bei. Vergleicht man jedoch die Planungen der Szenarien zwei und drei miteinander, wird deutlich, dass die energieorientierte Pla-

#### 4 Zusätzliches Raster mit vom Strompreis definierten Zeitintervallen



#### 5 Gesamtstromkosten für verschiedene Energiepreise und Optimierungsstrategien



nung versucht, extreme Preise zu Spitzenlastzeiten zu vermeiden (in → 6 rot und orange dargestellt), wodurch sich die Produktionsdauer (Makespan) verlängert → 6. Einige der Produktionsabläufe werden verzögert, wodurch möglicherweise zusätzliche Kosten für die Wiedererhitzung anfallen. Die Kosten für thermische Verluste wurden bei der Fallstudie zwar nicht in die Berechnung der Einsparungen einbezogen, doch mithilfe realistischer Kühlmodelle lassen sich potenzielle Kosten durch Produktionsverzögerungen mit Sicherheit berücksichtigen.

#### Planungslösung

Ein neues ABB-Produktionsplanungssystem auf MILP-Basis wurde im äußerst komplexen Stahlwerk von Acciai Speciali Terni SpA, ein Unternehmen von ThyssenKrupp und einer der weltweit führenden Hersteller von Flachprodukten aus Edelstahl, implementiert. Mit dem neuen System sind Produktionsplaner in der Lage, binnen weniger Minuten für bis zu sieben Produktionstage automatisch einen neuen optimalen Produktionsplan zu erstellen bzw. einen bestehenden Plan manuell zu aktualisieren. Das System ist flexibel genug, um verschiedene Anlagenkonfigurationen zu unterstützen und alle anderen zur Erstellung eines realisierbaren Produktionsplans notwendigen Informationen wie Verarbeitungs-, Transport-, Einrichtungs- und Reinigungszeiten einzubinden. Darüber hinaus werden Wartungspläne, der aktuelle Zustand der

Anlage und die Verfügbarkeit verschiedener Ausrüstungen, Fälligkeitsdaten, Strafen für Verspätungen und die Überschreitung von Verweilzeiten zwischen einzelnen Prozessschritten usw. berücksichtigt. Ferner hat das Stahlunternehmen eine webbasierte GUI erstellt, die es dem Benutzer ermöglicht, flexibel zu wählen, was optimiert und geplant werden soll → 7. Die auf der linken Seite in → 7 dargestellte Liste zeigt die Produktionsschritte bzw. -einheiten wie den Lichtbogenofen und die Pfannenöfen. Für jede Einheit gibt es zwei Zeilen: „monitoraggio“ bezieht sich auf die Überwachung und zeigt den aktuellen Zustand der Einheit sowie das, was zurzeit dort passiert. Die Zeile „programma“ zeigt, was für die jeweilige Einheit geplant ist. Damit haben andere Abteilungen die Möglichkeit, geeignete Maßnahmen zu initiieren, um potentielle Verluste und Produktionsverzögerungen zu minimieren – z.B. durch Neuplanung oder Aufschieben der Produktion aufgrund eines hohen Strompreises. Das neue Planungssystem ist nicht nur mit anderen internen IT-Systemen wie dem ERP- und Prozessleitsystem, sondern auch mit dem externen Day-Ahead-Strommarkt verbunden, um eine dynamische Reaktion auf Strompreisschwankungen zu ermöglichen.

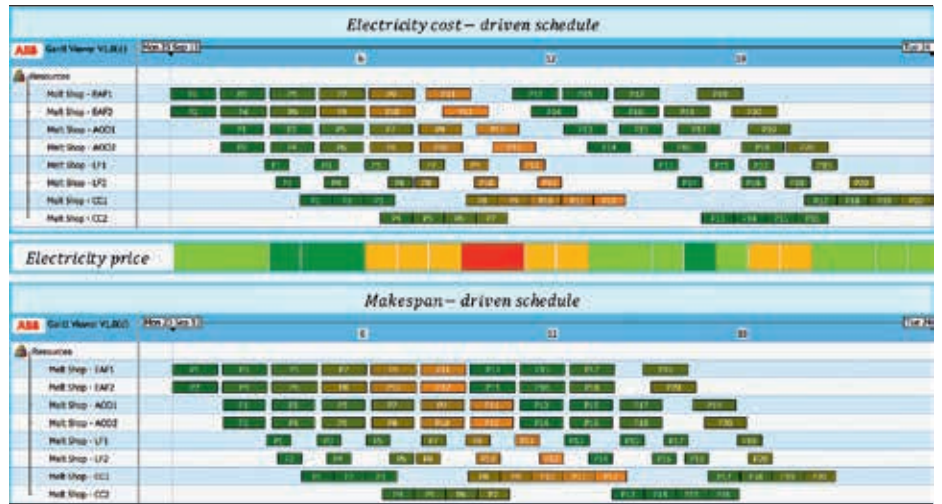
Dazu hat das Stahlunternehmen in Zusammenarbeit mit ABB eine fortschrittliche Lösung zur Optimierung des Produktionsplans in das neue Planungssystem

Das zeitkontinuierliche Planungsmodell wurde dahingehend verfeinert, dass es sowohl den Strompreis als auch Abweichungen von einer vereinbarten Lastkurve berücksichtigt.

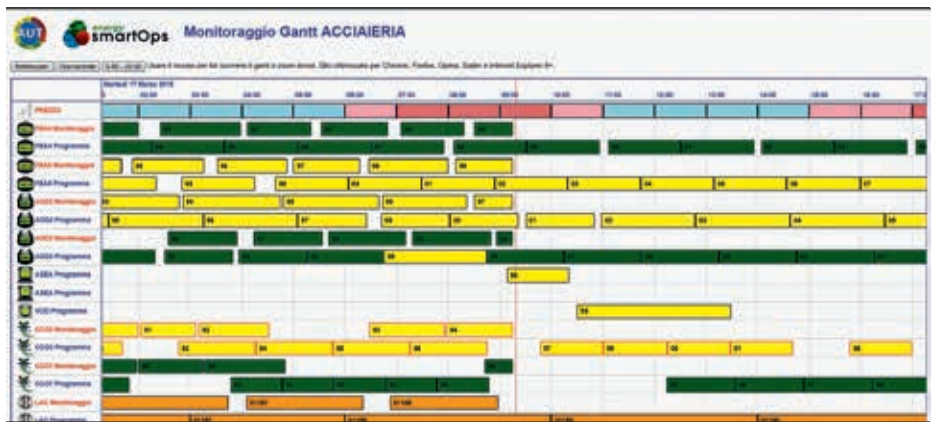


So kann binnen weniger Minuten für bis zu sieben Produktionstage automatisch ein neuer kostenoptimaler Plan erstellt oder ein bestehender Plan manuell aktualisiert werden.

## 6 Energiekostenorientierte und produktionsdauerorientierte Planung im Vergleich



## 7 Webbasierte GUI des neuen Produktionsplanungssystems



integriert, die auch Strompreise berücksichtigt. Diese fortschrittliche Lösung bietet dem Werk die Möglichkeit, seine Stromkosten und Produktionsdauer zu optimieren und somit eine aktivere Rolle in Demand-Side-Response-Programmen zu spielen sowie die Zuverlässigkeit und Sicherheit des Netzes zu unterstützen.

Es hat sich gezeigt, dass die Implementierung die Koordination zwischen verschiedenen Produktionsschritten im Stahlwerk verbessert und somit die Verweilzeiten verkürzt, was wiederum eine Reduzierung des Energieverbrauchs bedeutet. Darüber hinaus hat sich das System als nützliches Werkzeug zur Durchführung verschiedener Simulationen und Was-wäre-wenn-Analysen bewährt. Der geschätzte Nutzen beträgt zwischen 2 und 5 %, was angesichts der großen Energiebudgets eine Einsparung in Millionenhöhe darstellt.

### Auf die Flexibilität kommt es an

Bedingt durch kleinere und kundenspezifischere Aufträge wird auch für Branchen außerhalb der Stahlherstellung die Produktionsplanung immer komplexer. Produktionsanlagen müssen heute agil und flexibel sein, um auf kurzfristige Veränderungen zu reagieren. Auch diese Branchen sehen sich mit der Komplexität konfrontiert, die sich aus den sich stündlich verändernden, aber potenziell erschwlicheren Strompreisen auf dem Day-Ahead-Markt ergibt. Folglich müssen in kombinierte Energie- und Produktionsplanungsprozesse stets auch Echtzeitdaten integriert werden. Mit ihrem umfassenden Angebot an Prozess- und Netzautomatisierungsprodukten verfügt ABB über die notwendigen Werkzeuge, um mithilfe von prozessinternen Pufferspeichern und durch Verschiebung der Produktionslast eine angemessene Abstimmung von Angebot und Nachfrage für eine breite Palette von Industrien zu realisieren.

**Iiro Harjunoski**

**Lennart Merkert**

**Hubert Hadera (ehemals ABB)**

ABB Corporate Research

Ladenburg, Deutschland

iiro.harjunoski@de.abb.com

lennart.merkert@de.abb.com

**Antto Shemeikka**

ABB Process Automation, Process Industries

Helsinki, Finnland

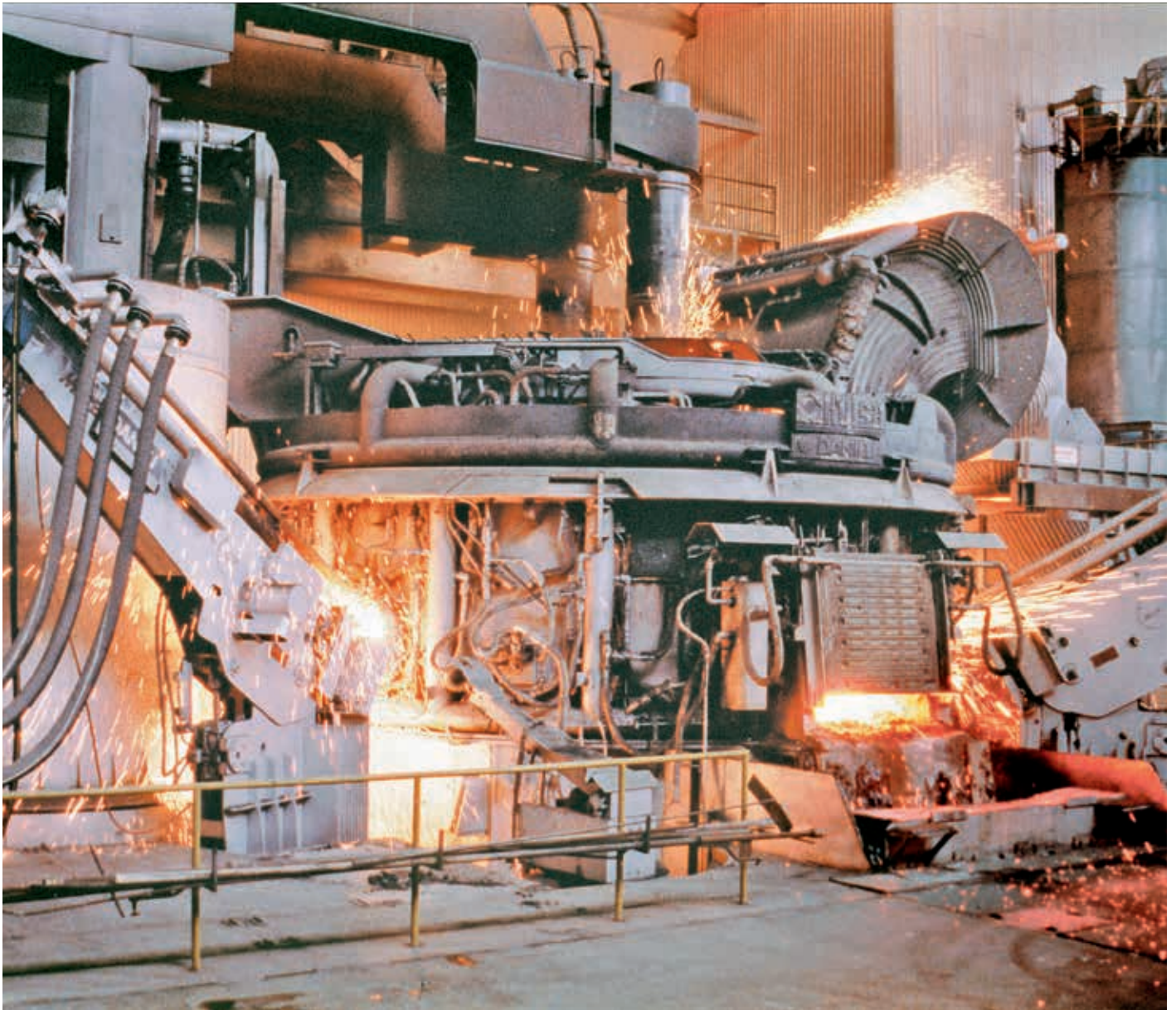
antto.shemeikka@fi.abb.com

**Dragoljub Gajic**

**Luca Onofri**

ThyssenKrupp AG, Acciai Speciali Terni SpA

Terni, Italien



# Der richtige Dreh

ArcSave® steigert die Produktivität und senkt die Kosten beim Betrieb von Lichtbogenöfen

LIDONG TENG, AARON JONES, MICHAEL MEADOR, HELMUT HACKL – ArcSave® ist eine neuer elektromagnetischer Rührer für Lichtbogenöfen, der dabei hilft, die Sicherheit zu verbessern, die Produktivität zu steigern und Kosten zu senken. Das erste ArcSave-System wurde 2014 an einem 90-t-Lichtbogenofen installiert. Die Ergebnisse des Heißtests zeigen eine Stabilisierung der Lichtbögen und eine Verbesserung des Wärme- und Stoffübergangs im Lichtbogenprozess. Dies führt zu einer schnelleren Schmelzrate, einer geringeren Überhitzung der Schlacke, einem homogeneren

Schmelzbad, einer höheren Entkohlungsrate und einem höheren Öffnungsverhältnis des exzentrischen Bodenabstichs. Darüber hinaus hat ArcSave die Abstichtemperatur und den Sauerstoffanteil im Stahl beim Abstich reduziert, was die Schrottausbeute steigert und den Verbrauch von Ferrolegerungen im nachgelagerten Pfannenofenprozess reduziert. Der geringere Energieverbrauch, die kurze Zeit zwischen Abstichen und der konsistente Ofenbetrieb tragen erheblich zur Steigerung der Produktivität und Betriebssicherheit bei.



---

ABB entwickelt bereits seit über 70 Jahren elektromagnetische Produkte zur Verbesserung der Qualität, Produktivität und Sicherheit in der Stahlherstellung.

**A**BB entwickelt bereits seit über 70 Jahren elektromagnetische Produkte zur Verbesserung der Qualität, Produktivität und Sicherheit in der Stahlherstellung. Der erste elektromagnetische Rührer (Electromagnetic Stirrer, EMS) für Lichtbogenöfen (Electric Arc Furnace, EAF) wurde 1947 an Uddeholms AB in Schweden geliefert. Seitdem wurden über 150 Einheiten weltweit installiert. Vor Kurzem hat ABB eine neue Generation von EAF-EMS mit der Bezeichnung ArcSave entwickelt, um der Forderung nach einer höheren

mithilfe der bestmöglichen verfügbaren Technologie Tradition hat. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, so die Philosophie von SDI, muss jede Tonne Stahl so effizient und sicher wie möglich produziert werden. Aus diesem Grund beteiligte sich SDI an dem Projekt mit ABB und installierte ArcSave an seinem EAF.

#### Rührverfahren

Der ArcSave-Rührer wurde unter einem nichtmagnetischen Boden aus austenitischem Edelstahl angeordnet → 1a. Ein niederfrequenter elektrischer Strom in

den Rührerwicklungen erzeugt ein wanderndes Magnetfeld, das den Boden des Ofens durchdringt und physikalische Kräfte im geschmolzenen Stahl erzeugt → 1b. Die Rührbewegung kann in-

---

## Der Hauptunterschied von ArcSave für den EAF ist die Intensität der Wärmeströmung im Schmelzbad.

Rührleistung bei der Herstellung von unlegiertem Kohlenstoffstahl und hochlegiertem Stahl nachzukommen.

Im Juli 2014 erfolgte die Installation und Inbetriebnahme des ersten ArcSave-Systems an einem 90-t-Wechselstrom-EAF bei Steels Dynamics, Inc. (SDI) in Roanoke, USA. SDI ist ein Unternehmen, bei dem die Erzielung von Verbesserungen

individuell auf die Bedürfnisse verschiedener EAF-Prozessschritte wie Schrotterwärmung, Homogenisierung, Schmelzen von Legierungen, Entkohlen, Abschlacken und Abstechen zugeschnitten werden.

Das System ist für eine durchschnittliche induzierte Schmelzgeschwindigkeit von 0,5 m/s ausgelegt. → 2 zeigt ein simulier-

---

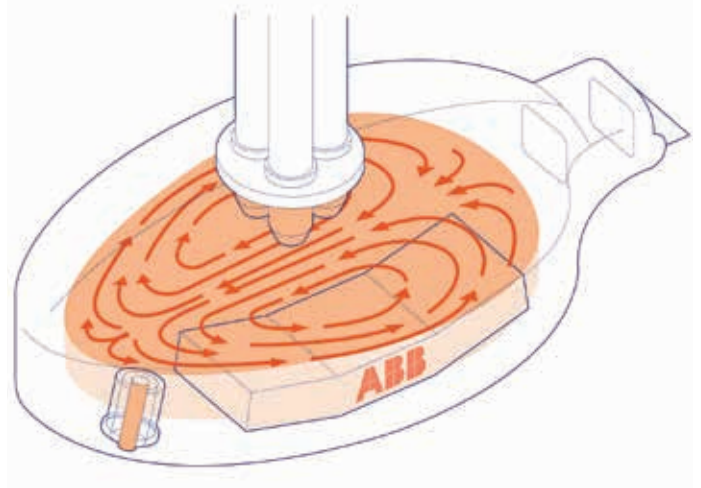
#### Titelbild

Elektromagnetische Rührer sind für einen effizienten Betrieb von Lichtbogenöfen von entscheidender Bedeutung. ArcSave, die neue Rührergeneration von ABB, ist seit einem Jahr in einem Stahlwerk in Betrieb. Was sind die bisherigen Ergebnisse?





1a Der unter dem Ofen angeordnete Rührer von ABB



1b Schematische Darstellung des Ofens mit darunter liegendem Rührer und Strömungsmustern

tes Beispiel des Hauptströmungsmusters im horizontalen Querschnitt etwa 25 cm unterhalb der Schmelzoberfläche in einem 150-t-EAF mit exzentrischem Bodenabstich (Eccentric Bottom Tap, EBT). Zu erkennen ist eine leichte Asymmetrie in der Strömung. Doch im Vergleich zum örtlich begrenzteren Gasrühren bewirkt der EMS eine umfassende Umwälzung im Schmelzbad und ermöglicht so ein effizienteres Vermischen der gesamten Schmelze. Dieser Mischeffekt beschleunigt die Homogenisierung der Temperatur und der chemischen Zusammensetzung des Stahls sowie der chemischen Reaktionen zwischen Stahl und Schlacke.

Das komplette ArcSave-System umfasst den elektromagnetischen Rührer, einen Frequenzumrichter, einen Transformator und eine Wasserstation → 3. Seine besonderen Eigenschaften sind:

- Kein physischer Kontakt mit der Stahlschmelze.
- Es kann normale Feuerfestauskleidung verwendet werden.
- Die Rührrichtung kann durch Änderung der Stromrichtung umgekehrt werden.
- Nur wenig Wartung ist erforderlich.

Wie die Heißtestergebnisse von SDI zeigen, konnten mit ArcSave aufgrund der verbesserten kinetischen Bedingungen für den Wärme- und Stoffübergang signifikante Prozessvorteile erzielt werden, die im Folgenden genauer betrachtet werden.

### Effizienz und Energieeinsparung bei der Lichtbogenerwärmung

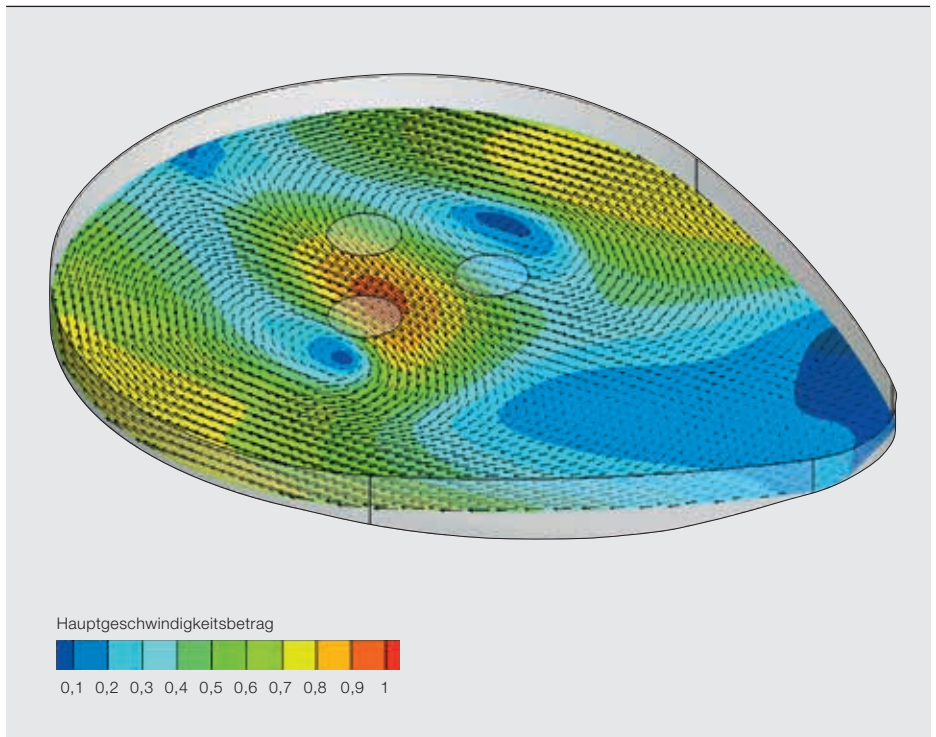
Aufgrund der Harmonisierung wurde das Temperaturgefälle in der Schmelze mit dem EMS auf 25 % des vorherigen Werts

**Die Gesamtenergieeinsparung bei SDI beträgt etwa 14 kWh/t, was 4 % des Gesamtverbrauchs entspricht.**

reduziert. Das bedeutet, dass der EMS die Überhitzung der Schmelzoberfläche reduziert und die Wärme von der Lichtbogenzone schnell in die Masse der Schmelze übertragen wird. Durch die Reduzierung der Oberflächenüberhitzung fallen auch die Wärmeverluste an die Wände und den Deckel des Ofens geringer aus, was wiederum den Stromverbrauch senkt. Gleichzeitig werden durch das Rühren die Schrottschmelzrate und die Entkohlungsrate erhöht, was die Prozesszeit verkürzt und ebenfalls die Wärmeverluste senkt. Die beim ArcSave-Test bei SDI erzielte Gesamtenergieeinsparung beinhaltet auch die Reduzierung der chemischen Energie durch den gesenkten Erdgas-, Kohlenstoff- und Sauerstoffbedarf sowie die Reduzierung von

Durch das Rühren kann die Kohlenstoff-Sauerstoff-Reaktion näher an das Gleichgewicht gebracht werden. Außerdem wurde der  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalt in der Schlacke um 2,5 % reduziert.

2 Durch elektromagnetisches Rühren erzeugtes Strömungsmuster der Schmelze [1]



Eisenoxid ( $\text{FeO}$ ) in der Schlacke. Die Gesamtenergieeinsparung beträgt etwa 14 kWh/t, was 4 % des Gesamtverbrauchs entspricht. Aufgrund des effizienteren Energieeinsatzes und der effizienteren Erwärmung verkürzt ArcSave die Schmelzzeit mit Lichtbogeneinsatz (Power-On-Time) um etwa 5 %.

geringen Konvektion durch Dichteunterschiede.

Darüber hinaus hat das Rühren die Stabilisierungszeit der Elektroden nach der Korbbeschiebung bei SDI verkürzt (um etwa 10 %) → 4a. Ferner wurde festgestellt, dass der EMS große Schrottpakete

schneller schmelzen lässt und das Nachrutschen von Schrott reduziert (plötzliche Schrottbewegungen in der Schmelze stören die Kontinuität des Prozesses), was den Lichtbogen stabilisiert. Bei einer Charge von drei Körben reduziert sich die Standardabweichung der Strom-

Eine homogene Temperaturverteilung führt zu einem heißen EBT, begünstigt einen reibungslosen, verzögerungsfreien Abstich und ermöglicht das Erreichen einer genauen Abstichtemperatur.

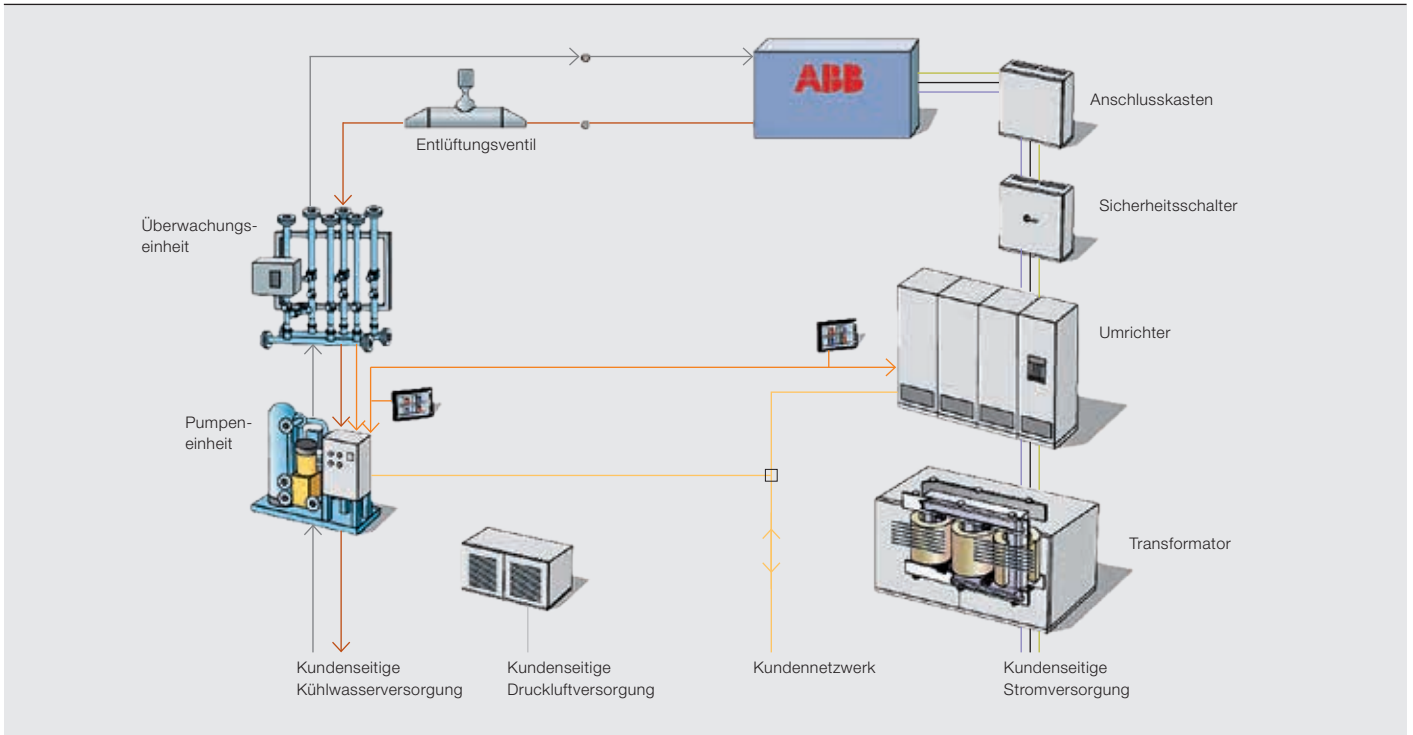
#### Schrottschmelzprozess

Der Hauptunterschied von ArcSave für den EAF ist die Intensität der Wärmeströmung (Konvektion) im Schmelzbad. Die durch das elektromagnetische Rühren erzeugte Zwangskonvektion begünstigt das Schmelzen größerer Schrottteile und -pakete, trägt zu einer homogenen Verteilung der Temperatur und Zusammensetzung bei und macht die Schichtung des Schrotts weniger wichtig. Ohne Rühren kommt es nur zu einer sehr

änderung mit ArcSave um rund 50 % → 4b.

Die reduzierten Stromschwankungen führen zu einem höheren Energieeintrag und somit zu einer höheren Produktivität.

Eine homogene Temperaturverteilung im Schmelzbad führt zudem zu einem heißen EBT, begünstigt einen reibungslosen, verzögerungsfreien Abstich und ermöglicht das Erreichen einer genauen Abstichtemperatur für die unterschiedlichen Stahlsorten.



### Entkohlung und O<sub>2</sub>-Ausbeute

Nachdem der Schrott vollständig geschmolzen ist, beginnt das Raffinieren. Dies umfasst hauptsächlich das Entkohlen durch Einblasen von Sauerstoff. Dadurch entsteht eine hoch turbulente

### Desoxidation

Es ist bekannt, dass die Kohlenstoff-Sauerstoff-Reaktion durch Rühren des EAF-Bads näher an das Gleichgewicht gebracht werden kann [2]. Dies wurde durch die Testergebnisse von SDI bestätigt,

wo der Sauerstoffgehalt beim Abstich bei einem leichten Anstieg des Kohlenstoffgehalts von 618 ppm auf 504 ppm reduziert wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass mit ArcSave gleichzeitig ein ge-

ArcSave erleichtert den Kohlenstoffübergang in die Reaktionszone, kann die Entkohlungsrate verdoppeln und den Sauerstoffverbrauch reduzieren.

ringere Kohlenstoff- und Sauerstoffgehalt erreicht werden kann. Darüber hinaus wurde der Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt in der Schlacke mit ArcSave um 2,5% reduziert. Entsprechend der Materialbilanz ergibt dies eine Steigerung der Stahlausbeute um 0,2%, was die Schrott- und Herstellungskosten senkt.

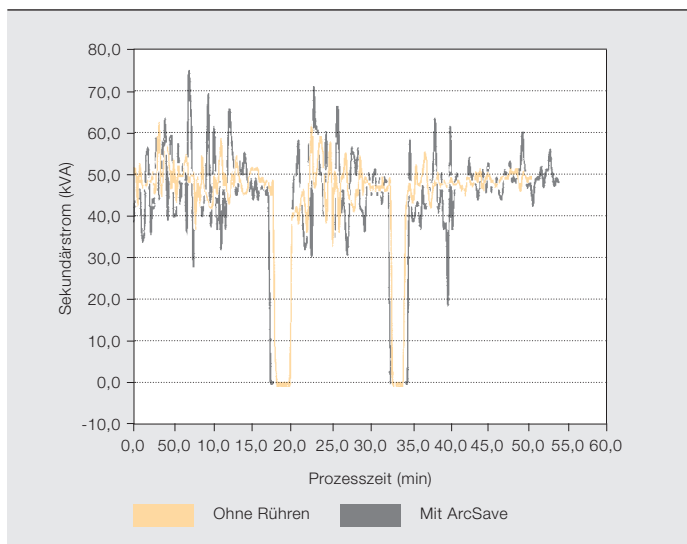
Reaktionszone, in der Kohlenstoff aus der Metallschmelze mit Sauerstoff oder FeO reagieren kann. Bei einem hohen Kohlenstoffgehalt im Stahl wird die Reaktionsgeschwindigkeit durch die Sauerstoffversorgung bestimmt. Liegt der Gehalt jedoch unter einem bestimmten Wert, ist normalerweise der Kohlenstofftransport in die Reaktionszone und somit auch die Geschwindigkeit der Entkohlungsreaktion geringer. ArcSave erleichtert den Kohlenstoffübergang in die Reaktionszone und kann die Geschwindigkeit beider Vorgänge verdoppeln – bei gleichzeitiger Reduzierung des Sauerstoffverbrauchs (bei SDI um 5%).

ringere Kohlenstoff- und Sauerstoffgehalt erreicht werden kann. Darüber hinaus wurde der Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt in der Schlacke mit ArcSave um 2,5% reduziert. Entsprechend der Materialbilanz ergibt dies eine Steigerung der Stahlausbeute um 0,2%, was die Schrott- und Herstellungskosten senkt.

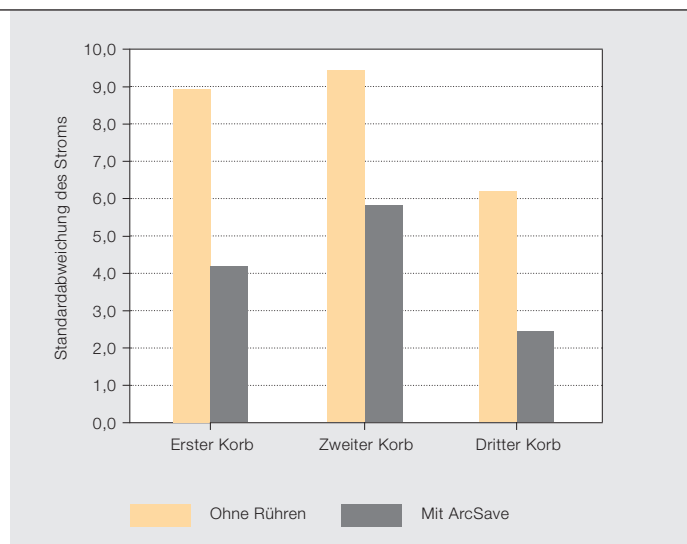
### Stahlausbeute

Einen weiteren bedeutenden Beitrag zur Steigerung der Stahlausbeute neben der Reduzierung von FeO in der Schlacke liefert die Reduzierung von metallischem Schrott in der abgelassenen Schlacke. Bei SDI wurde der Schrottanteil in den recycelten Schlacken um rund 40% reduziert. Dies entspricht einer Steige-





4a Vergleich des Elektroden-Sekundärstroms ohne Rühren und mit ArcSave. Mit ArcSave wurden die Stromschwankungen reduziert.



4b Standardabweichung der Stromänderung für eine Charge von drei Körben. Die Reduzierung mit ArcSave beträgt rund 50 %.

rung der Stahlausbeute im EAF von etwa 0,6%. Der Grund für die Reduzierung der Stahltröpfchen in der Schlacke durch das Rühren wird zurzeit untersucht, doch die intensive Wechselwirkung zwischen Schlacke und Metall und die heterogene Schlacke, die mit ArcSave erreicht wird, sind mögliche Gründe.

Auch die höhere Metallausbeute aufgrund des geringeren Sauerstoffgehalts im Stahl beim Abstich trägt zur Steigerung der Stahlausbeute bei.

**Wirbelbildung und Schlackenmitlauf**  
Theoretisch sollte eine EBT-Öffnung zu einem schlackefreien Abstich führen, doch in der Praxis kommt es immer zu einem gewissen Schlackenmitlauf in die Abstichpfanne. Der Grund dafür sind Verwirbelungen am Ende des Abstichvorgangs. Modellversuche mit Wasser zeigen, dass die Bildung von Wirbeln durch die Rührkraft von ArcSave unterdrückt werden kann. Eine Messung der Schla-

**Ofenauskleidung**  
Heißtests bei SDI über einen Zeitraum von sechs Monaten haben gezeigt, dass die notwendigen Reparaturen an der Feuerfestauskleidung des Ofens durch das Rühren mit ArcSave um etwa 15 % reduziert werden konnten. Der Hauptgrund hierfür liegt wahrscheinlich in der geringeren Überhitzung, da die kritischsten Schäden in der Ofenauskleidung im Bereich der Schlackenlinie auftreten. Die Reduzierung des FeO-Gehalts in der Schlacke und des Sauerstoffgehalts im Stahl tragen ebenfalls dazu bei. Ein dritter Aspekt, der zu einem geringeren Verschleiß der Feuerfestauskleidung beiträgt, ist die geringere Abstichtemperatur, die um 14 °C gesenkt werden konnte, ohne die Temperatur bei Ankunft am Pffannenofen zu beeinträchtigen → 5.

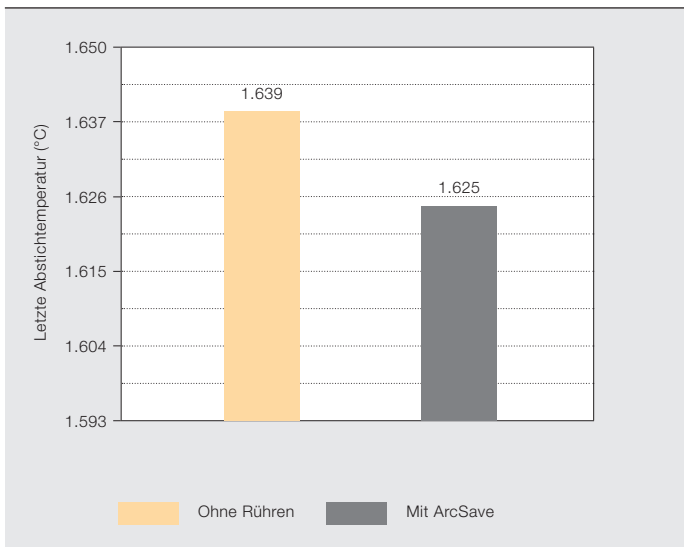
**Prozesszuverlässigkeit und -sicherheit**  
Sicherheit und Zuverlässigkeit sind für den EAF-Betrieb stets von größter Bedeutung. Die hier beschriebenen positiven Auswirkungen von ArcSave auf den EAF-Prozess werden auch einen erheblichen Einfluss auf die Verbesserung der Prozess-

## Die Ergebnisse der Anlage bei SDI haben gezeigt, dass ArcSave dem Stahlhersteller mehrere Vorteile bietet.

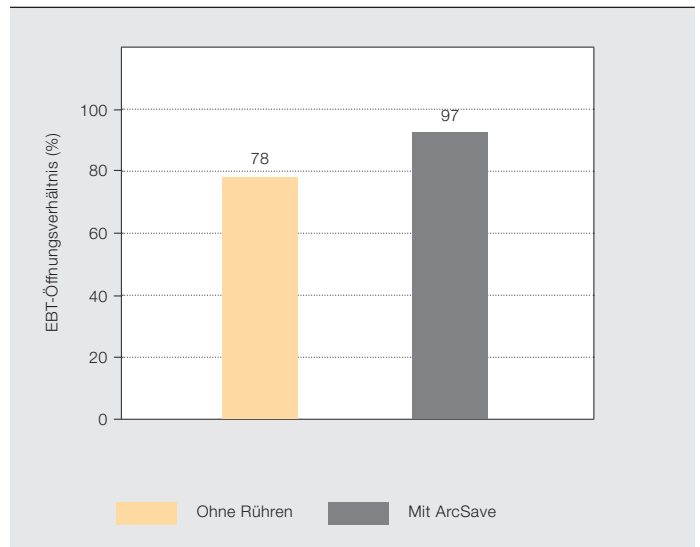
ckendicke in der Abstichpfanne ergab eine Reduzierung der mitgelaufenen Schlackenmenge mit ArcSave um 50 %.

zesssicherheit und -zuverlässigkeit haben. ArcSave senkt die Abstichtemperatur, reduziert die Überhitzung an den heißen Stellen und erhöht das freie EBT-Öff-

## 5 Veränderung der Abstichtemperatur mit ArcSave



## 6 Veränderung des EBT-Öffnungsverhältnisses mit ArcSave. Ein hohes Verhältnis steigert die Betriebssicherheit und Produktivität.



## 7 Prozessvorteile im Überblick

Prozesselemente	Nutzen
Gesamtenergie	- 3-5 %
Elektrode	- 4-6 %
Power-On-Zeit	- 4-6 %
Sauerstoff	- 5-8 %
Desoxidationsmittel	-10-15 %
Stahlausbeute	+ 0,5-1,0 %
Produktivität	+4-7 %

besonders bei der Beschickung mit Roheisen

- Abweichungen von Abstichtgewicht und -temperatur
- Niedriges EBT-Öffnungsverhältnis → 6

### Sicherere, schnellere und günstigere Stahlherstellung

Die Ergebnisse der Anlage bei SDI haben gezeigt, dass ArcSave dem Stahlhersteller mehrere Vorteile bietet → 7. ArcSave unterstützt den Schmelzvorgang für eine sicherere, schnellere und kostengünstigere Herstellung von flüssigem Stahl. ArcSave verbessert den Wärme- und Stoffübergang im EAF-Prozess, beschleunigt das Einschmelzen von Schrott, beschleunigt die Homogenisierung der Temperatur und chemischen Zusammensetzung im Stahlbad, bringt die Reaktionen zwischen Metall und Schlacke näher an das Gleichgewicht, erhöht die Entkohlungsrate und verbessert die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Produktivität des Ofenbetriebs. Somit bietet ArcSave besonderes Potenzial für EAFs, deren Produktivität gesteigert werden soll.

Die Autoren bedanken sich bei Paul Schuler und Nuno Vieira Pinto von SDI (Roanoke) für die freundliche Unterstützung und die wertvollen Gespräche. Unser Dank gilt außerdem Chis Curran von ABB Metallurgy Canada für die Hilfe bei der Messung des Schlackenmitlaufs. Dank auch an Boo Eriksson und Jan Erik Eriksson von ABB Schweden für die hilfreichen technischen Gespräche während der Testarbeiten.

#### Lidong Teng

ABB Metallurgy, Process Automation  
Västerås, Schweden  
lidong.teng@se.abb.com

#### Aaron Jones

Michael Meador  
Steel Dynamics, Inc., Roanoke Bar Division  
Roanoke, VA, USA

#### Helmut Hackl

ABB Metals, Process Automation  
Västerås, Schweden  
helmut.r.hackl@se.abb.com

#### Literaturhinweise

- [1] O. Widlund et al.: „Modeling of electric arc furnaces (EAF) with electromagnetic stirring“. Proceedings of 4th International Conference on Modelling and Simulation of Metallurgical Processes in Steelmaking (SteelSim). Düsseldorf, Deutschland, 2011
- [2] R. J. Fruehan: „The Making, Shaping and Treating of Steel“. Volume 2: Steel Making and Refining. The AISE Steel Foundation, 1998. S. 125-133

Mit ArcSave konnten die Reparaturen an der Ofenauskleidung bei SDI nach sechs Monaten um etwa 15 % reduziert werden.

nungsverhältnis, was die Sicherheit des Ofens verbessert.

Folgende Prozessstörungen konnten mithilfe von ArcSave reduziert oder beseitigt werden:

- Nachrutschen des Schrotts
- Nicht geschmolzene, große Stahl- oder Roheisenreste
- Auskochen von Kohlenstoff (ein plötzliches Phänomen in der Schmelze) –



# Des Motors bester Freund

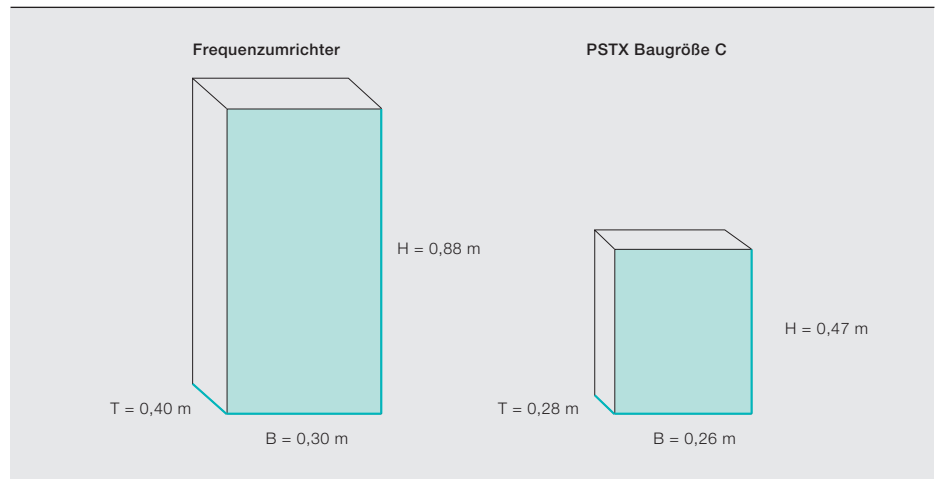
ABB verringert die Lücke zwischen Sanftanlassern und Frequenzumrichtern

CARL THORSTENSSON, JOAKIM X. JANSSON – Seit über 100 Jahren gehört ABB zu den führenden Entwicklern von Elektromotoren. Der Einsatz von Motoren ist stets mit der Herausforderung verbunden, den Motor so zu starten, dass weder die elektrische Versorgung noch die mechanische Last übermäßig beansprucht werden. So ist es wenig überraschend, dass ABB ebenso lange wie Elektromotoren auch Lösungen zum Anlassen von Motoren anbietet. Zunächst konzentrierten sich diese auf verschiedene Verfahren zum direkten Anlassen und Auslaufen mithilfe von Trennschaltern und Schützen. Mit der Einführung drehzahl-geregelter Antriebe konnte später die Drehzahl des Motors

geregelt werden. In den 1980er Jahren kam der Sanftanlasser als Kompromiss zwischen dem sanften Anlassen und Auslaufen mittels Frequenzumrichter und der kompakten Größe und den niedrigeren Kosten eines direkten Netzanschlusses auf den Markt (ein Sanftanlasser basiert wie ein Frequenzumrichter auf Halbleitertechnik, wird aber normalerweise umgangen, sobald der Motor seine Drehzahl erreicht hat). Seitdem hat ABB mehrere Generationen von Sanftanlassern entwickelt. Eine Kundenumfrage zu möglichen Verbesserungen der Sanftanlasser ergab den Wunsch, die Lücke zwischen Sanftanlassern und Frequenzumrichtern weiter zu verringern. Die Antwort von ABB ist der Softstarter PSTX.



## 1 Der PSTX Softstarter benötigt erheblich weniger Platz als ein entsprechender Frequenzumrichter.



Um die Lücke zwischen Sanftanlassern und Frequenzumrichtern zu verringern, hat ABB den PSTX mit vielen Funktionen ausgestattet, die vorher nur mit Frequenzumrichtern zur Verfügung standen – und dies, ohne die wesentlichen Stärken des Sanftanlassers wie seine kompakte Größe →1, geringere Wärmeentwicklung und niedrigeren Kosten zu beeinträchtigen. Zu den Funktionen des PSTX gehören u. a. Über- und Unterspannungsschutz, Notlaufbetrieb, Motorbremse und Motorheizung. Das innovativste Merkmal ist der langsame Tippbetrieb. Diese Funktion bietet die Möglichkeit, den Motor mit reduzierter Drehzahl laufen zu lassen, und schließt so die Lücke zum Frequenzumrichter.

### Nutzen

Mithilfe des PSTX Softstarters lässt sich die Drehzahl eines Motors ohne Frequenzumrichter regulieren. Im langsamen Tippbetrieb kann der Motor mit drei verschiedenen reduzierten Drehzahlen sowohl vorwärts als auch rückwärts betrieben werden. Aufgrund der Propor-

tionalität zwischen der Frequenz und der Motordrehzahl kann die Drehzahl des Motors durch Reduzieren der Ausgangsfrequenz des Softstarters gesenkt werden. So ist eine vorübergehende Drehzahlregelung eines Motors ohne einen großen und teuren Frequenzumrichter möglich.

Ein wiederkehrendes Problem bei Pumpenanwendungen sind verstopfte Rohrleitungen und blockierte Pumpen. Durch Kombination der Funktionen „rückwärts Tippen“ und „Kickstart“ bietet der PSTX eine Lösung zur Pumpenreinigung. Doch der Tippbetrieb kann in vielen weiteren Situationen genutzt werden, z. B. zur Positionierung von Förderbändern, zur Vereinfachung von Wartungsinspektionen und zur Sicherung der vollen Funktionalität einer Anwendung bei der Inbetriebnahme.

### Technische Erläuterung

Es besteht eine grundlegende Beziehung zwischen der Motordrehzahl und der Frequenz:

$$n = \frac{2 \times f \times 60}{p} \Rightarrow n \propto f$$

Wobei n der Anzahl der Umdrehungen des Motors in der Minute, f der Frequenz und p der Polzahl des Motors entspricht. Wird die Frequenz des Sanftanlassers reduziert, sinkt auch die Drehzahl entsprechend:

$$f \downarrow n \Rightarrow n \downarrow$$

Im Gegensatz zu einem Frequenzumrichter erzeugt der PSTX Unterschwingungen der Grundfrequenz (normale Netzfrequenz von 50 oder 60 Hz) durch das

Zünden der Thyristoren in einer bestimmten Reihenfolge.

Eine Unterschwingung ist vergleichbar mit einer Oberschwingung, nur besitzt sie statt einer höheren eine niedrigere Frequenz als die Grundfrequenz. Man kann die Grundfrequenz als eine Oberschwingung oder Harmonische der erzeugten Unterschwingung betrachten. Um die niedrigere Frequenz zu erzeugen, werden die Thyristoren gezündet, wenn sich die Kurven der Grundfrequenz und der gewünschten Unterschwingung schneiden.

In →2 entspricht die hellgrüne Linie der siebten Unterschwingung und die dunkelgrüne Linie der fünften Unterschwingung. Beide stehen für zwei verschiedene Motordrehzahlen. Die vertikalen violetten und roten Markierungen kennzeichnen das Zündsignal für den positiven bzw. negativen Thyristor.

Die Erzeugung einer niedrigeren Frequenz bietet viele Vorteile gegenüber der Verwendung eines Frequenzumrichters. Zum Beispiel werden nicht annähernd so viele Harmonische erzeugt wie mit einem Frequenzumrichter in der gleichen Situation, weil der PSTX das Eingangssignal nicht zerhackt, sondern nur die notwendigen Teile davon nutzt. Die Thyristoren leiten Teile der Halbwellen, um die gewünschte Ausgangsfrequenz zu erzeugen. →3 zeigt, wie die siebte Unterschwingung für alle drei Phasen erzeugt wird.

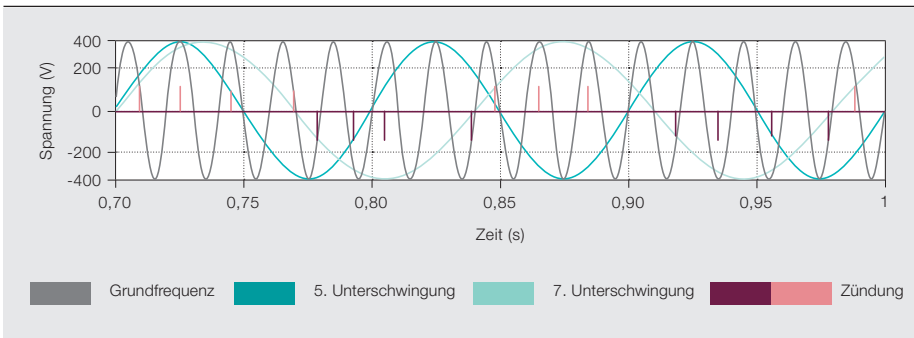
### Langsamer Rückwärtslauf

Der PSTX kann den Motor mit verschiedenen niedrigen Drehzahlen vorwärts laufen lassen. Die gleiche Methode zur Erzeugung niedrigerer Frequenzen kann

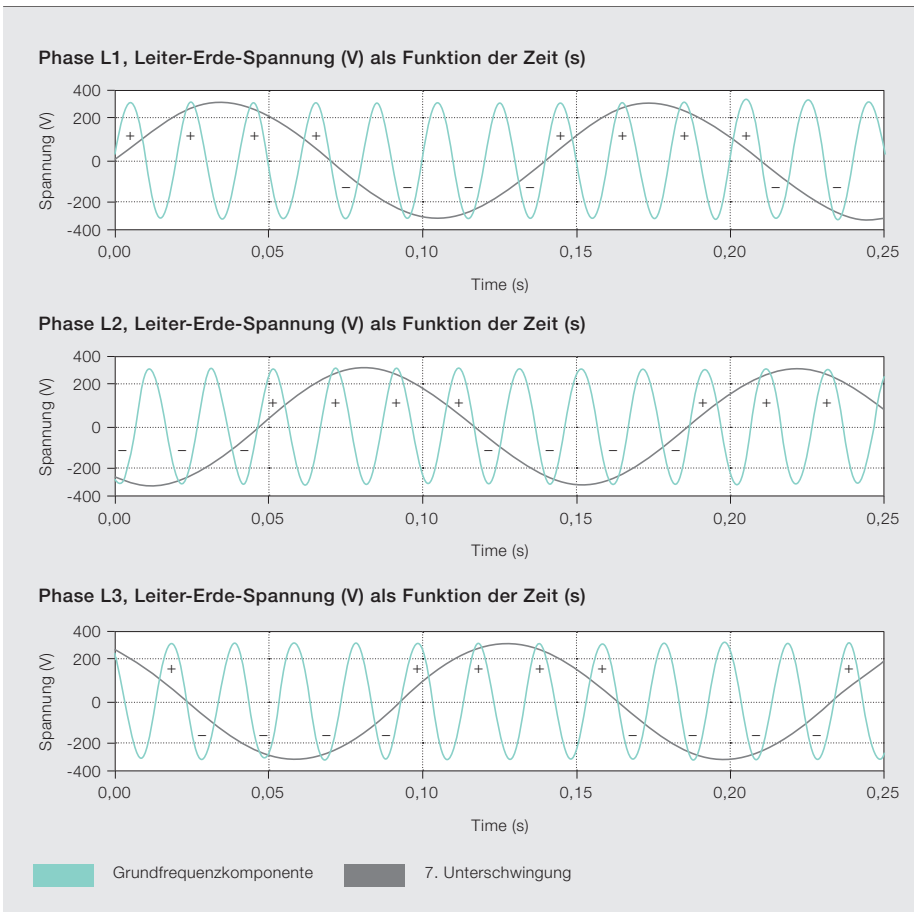
#### Titelbild

Der PSTX Softstarter von ABB verringert die Lücke zwischen Sanftanlassern und Frequenzumrichtern.

## 2 Unterschwingungen ermöglichen niedrigere Drehzahlen



## 3 Erzeugung der siebten Unterschwingung für alle drei Phasen



auch verwendet werden, um den Motor rückwärts laufen zu lassen.

Um die Laufrichtung des Motors zu ändern, muss das Magnetfeld seine Drehrichtung umkehren. Dies kann durch Änderung der Reihenfolge, in der die Phasen angesteuert werden, erreicht werden. Normalerweise wird dies durch Tauschen zweier Phasen mithilfe von zwei Schützen erreicht, doch der PSTX bietet eine einfachere Möglichkeit, um den gleichen Effekt zu erzielen.

### Verschiedene Drehzahlen

Der PSTX kann den Motor entsprechend den verschiedenen, in →4 dargestellten Unterschwingungen mit drei verschiede-

nen Drehzahlen vorwärts und rückwärts laufen lassen.

### Stets unter Kontrolle

Mit dem PSTX bietet ABB eine Drehzahlregelung durch langsamen Tippbetrieb in der kompakten Größe und zu den geringeren Kosten eines Sanftanlassers und macht diese Funktionalität damit mehr Anlagen und Kunden zugänglich. Die Möglichkeit einer vorübergehend reduzierten Drehzahl bietet erhebliche Vorteile. Dazu gehören z. B. der Umkehrbetrieb von Abwasserpumpen zur Reinigung oder die Positionierung von Kranen oder Förderbändern. Um eine einfache Bedienung sicherzustellen, kann der

## 4 Der PSTX Softstarter läuft mit drei Drehzahlen in beide Richtungen

Der PSTX ermöglicht den Betrieb des Motors mit drei verschiedenen Drehzahlen in beide Richtungen:

- Schneller Tippbetrieb vorwärts
  - 3. Unterschwingung  $\approx 33,3$  % d. Nenndrehzahl
- Tippbetrieb vorwärts
  - 7. Unterschwingung  $\approx 14,3$  % d. Nenndrehzahl
- Kriechbetrieb vorwärts
  - 13. Unterschwingung  $\approx 7,7$  % d. Nenndrehzahl
- Kriechbetrieb rückwärts
  - 11. Unterschwingung  $\approx 9,1$  % d. Nenndrehzahl
- Tippbetrieb rückwärts
  - 5. Unterschwingung  $\approx 20,0$  % d. Nenndrehzahl
- Schneller Tippbetrieb rückwärts
  - 3. Unterschwingung  $\approx 33,3$  % d. Nenndrehzahl

Die Möglichkeit einer vorübergehend reduzierten Drehzahl bietet erhebliche Vorteile.

Tippbetrieb auf verschiedene Weise, z. B. über eine abnehmbare Tastatur, über Tasten am Gerät oder per Feldbus-Kommunikation, gesteuert werden.

Carl Thorstensson

Joakim X. Jansson

ABB Low Voltage Products

Västerås, Schweden

carl.thorstensson@se.abb.com

joakim.x.jansson@se.abb.com



# Mittlere Spannung, hervorragende Leistung

## Die PCS100 Mittelspannungs-USV von ABB

PERRY FIELD – Die im Jahr 2014 eingeführte unterbrechungsfreie Mittelspannungs-Stromversorgung (USV) PCS100 MV UPS, die viele Merkmale mit ihren Schwesterprodukten für den Niederspannungsbereich gemein hat, etabliert sich zusehends auf dem Markt. Mittelspannungs-USV gibt es bereits seit einiger Zeit, wobei bisher dynamische rotierende USV (sog. DRUPS) vorherrschend waren. Während bei einem

DRUPS-System der Strom für die Last mithilfe einer rotierenden Maschine erzeugt wird, nutzt die PCS100 MV UPS modulare leistungselektronische Wechselrichter. Da es keine beweglichen Teile gibt, wird ein solches Konzept auch als statische Lösung bezeichnet. Dank der modularen Architektur der USV ist die 2-MVA-Grundeinheit mit steigendem Leistungsbedarf des Kunden problemlos erweiterbar.





**E**nergieeffizienz ist ein Thema, das für viele Anlagenbetreiber zunehmend an Bedeutung gewinnt. Im Falle von Rechenzentren gehört der Energieverbrauch z. B. zu den wenigen Betriebskosten, die der Betreiber beeinflussen kann. Hier eignet sich eine statische USV hervorragend, um Einsparungen zu erzielen. Mit einem Wirkungsgrad von 99,5% ist die PCS100 MV UPS führend in ihrer Klasse.

Die Verbesserung der Stromversorgungsqualität gehört zu den wichtigen Aufgaben von USV-Systemen. Viele große, kritische Industrieprozesse wie die Halbleiterfertigung, Chemikalienherstellung und Lebensmittelproduktion sind auf eine Stromqualität angewiesen, die vom öffentlichen Netz häufig nicht gewährleistet werden kann. In diesen Branchen sind umfangreiche Produktionseinbußen durch Netzunterbrechungen nicht tolerierbar. Erschwerend hinzu kommt, dass einzelne Standorte aufgrund von Skaleneffekten gewachsen sind und einen entsprechend höheren Bedarf an einer sicheren Stromversor-

gung – häufig in der Größenordnung von mehreren Dutzend Megawatt – entwickelt haben. Außerdem sind die Produktionsbereiche mit dem größten Strombedarf häufig weit über einen Standort verteilt. Entsprechend große Entfernungen in der Stromverteilung müssen auch an Orten wie Großflughäfen oder in einigen der riesigen Elektronik-Fertigungsstätten, wie sie heute rund um den Globus zu finden sind, bewältigt werden.

Diese Herausforderungen können mithilfe von Mittelspannungs-USV und der Verteilung des Stroms auf der Mittelspannungsebene gelöst werden.

#### Die goldene Mitte

Die Bereitstellung von hochwertigem Strom mit Mittelspannung (MS) muss nicht teuer sein. Die Investitionskosten für ein statisches MS-System sind häufig niedriger als die für ein rotierendes oder paralleles Niederspannungs-(NS-)System, denn bei hohen Leistungen erfordert ein Niederspannungssystem starke Leiter, beachtliche Schaltanlagen und mehrere Leistungsschalter. Deren Wartung kann die Instandhaltungskosten in

die Höhe treiben, besonders wenn ein rotierendes System verwendet wird. In einem Mittelspannungssystem sind die Verluste geringer, und es wird weniger Platz für die Ausrüstung benötigt, da zur Übertragung der gleichen Leistung niedrigere Ströme erforderlich sind.

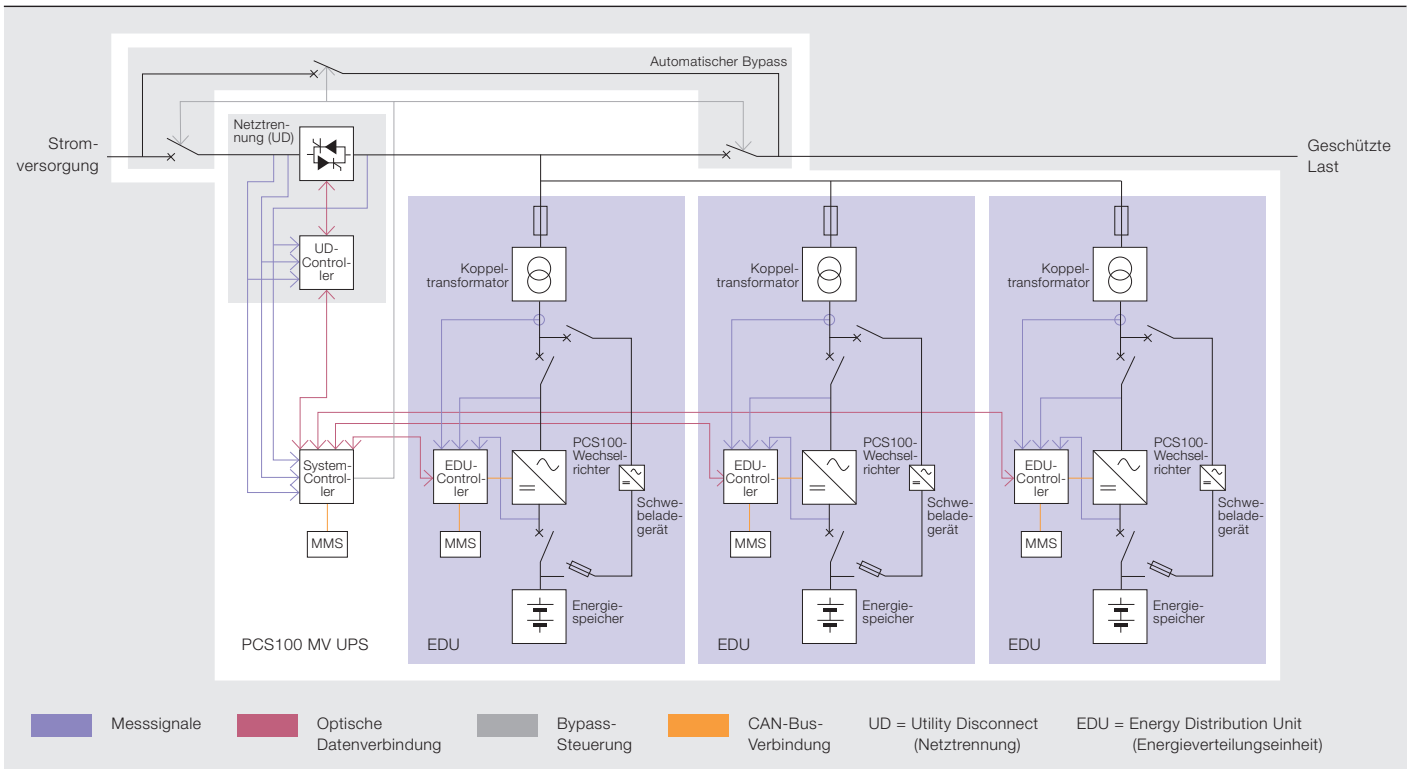
Dank des modularen Aufbaus der PCS100 MV UPS kann die NS-Schnittstelle zwischen dem Stromnetz und der

Einzelne Standorte sind gewachsen und haben einen entsprechend höheren Bedarf an einer sicheren Stromversorgung entwickelt.

Last einfach gegen MS-Komponenten ausgetauscht werden. Die Kernkomponenten der USV wie die äußerst zuverlässige NS-Leistungselektronik und der Batteriespeicher bleiben die gleichen wie für NS-Anwendungen. Auf diese Weise bleibt die bewährte Funktionalität und Wartungsfreundlichkeit der NS-USV erhalten, während gleichzeitig die Vorteile der Mittelspannung genutzt werden können, um eine hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

#### Titelbild

Die PCS100 MV ist eine vollständig elektronische Hochleistungs-USV zum Schutz von kritischen Prozessen oder Rechenzentren. Im Bild: ABB PCS100 MV UPS



In großen Hightech-Fertigungsstätten wie Halbleiterfabriken sind MS-USV bereits etabliert. Die MS-USV sorgt anlagenweit für eine sichere Stromversorgung, Schutz vor Netzstörungen und eine Pufferzeit vor dem Umschalten auf eine lokale Stromerzeugung (bei größeren Ausfällen).

Häufiger jedoch muss die USV den ankommenden Strom aufbereiten, d.h. Spannungseinbrüche und kurzzeitige Phänomene beseitigen, die durch Störungen im externen Stromnetz verursacht werden. Dies geschieht mithilfe des Energiespeichers in Form eines Superkondensators. Bei solch hohen Leistungsanforderungen bieten Energiespeicher auf der Basis von Superkondensatoren mit einer Leistungsdichte von 1.000 kW/m<sup>2</sup> aufgrund ihres geringen Platzbedarfs klare Vorteile.

In großen Rechenzentren ist die Philosophie eine ähnliche, wobei es verschiedene Ausführungsmöglichkeiten gibt. So kann z. B. die USV-Funktion auf der Mittelspannungsebene implementiert und die Mittelspannung auf die einzelnen Stockwerke des Rechenzentrums verteilt werden. Mithilfe von Transformatoren mit statischen Transferschaltern in der Nähe der IT-Ausrüstung lässt sich eine isoliert-redundante Reserveleitung mit zwei

alternativen Stromversorgungspfaden zu den Lasten realisieren [1].

#### Vorteile der MS-USV-Technologie

Durch die Verwendung eines MS-USV-Systems zum Schutz kritischer Anwendungen wird die erforderliche Stromtragfähigkeit der Einspeisung reduziert. So bedeutet 1 MW in einem System mit 400/230 V AC eine Stromstärke von 1.443 A pro Phase. Bei 15 kV beträgt dieser Strom für die gleiche übertragene Leistung nur 115 A. Eine weitere Eigenschaft der MS-USV ist die Tatsache, dass das System zentralisiert werden kann. Dies hilft dabei, die Bodenbelastung einzelner Stockwerke zu reduzieren, und ermöglicht eine größere Freiheit bei der Raumaufteilung – schließlich gehört Platzmangel zu den größten Kostenfaktoren in Rechenzentren und Produktionsstätten. Eine Reduzierung des Platzbedarfs von Infrastruktureinrichtungen wie Stromversorgungen schafft zusätzlichen Platz für IT- oder Fertigungseinrichtungen.

Häufig ist die für das USV-System verfügbare Fläche (besonders in bestehenden Gebäuden) vorgegeben und begrenzt, wohingegen die Leistungsanforderungen unaufhörlich steigen. Leistungsstarke, kompakte statische MS-USV-Produkte sind bestens geeignet, um diese Herausforderung zu bewältigen.

Bei einer MS-Verteilung sind die Verluste und der Platzbedarf geringer, da zur Übertragung der gleichen Leistung niedrigere Ströme erforderlich sind.



Neben dem Platzbedarf spielen die elektrischen Verluste eine wichtige Rolle. Besonders bei langen Verteilungswegen, wie sie in großen Industrieanlagen und an weitläufigen Standorten wie Flughäfen zu finden sind, können erhebliche Verluste auftreten. Bei größeren Verteilungsentfernungen nimmt der Einfluss des Kabels zu. Auch hier bietet der Betrieb mit Mittelspannung Vorteile.

#### Skalierbarkeit und Modularität

Skalierbarkeit und Modularität sind Schlüsselmerkmale der PCS100 MV UPS. Ausgehend von einer Grundnennleistung von 2 MVA kann das PCS100-USV-System mit der sich entwickelnden Anlage mitwachsen → 1–3. Die PCS100 MV UPS ist zurzeit die einzige statische USV auf dem Markt, die diese Eigenschaft bietet. Neben der Energieverteilungseinheit (Energy Distribution Unit, EDU) der PCS100 MV UPS sind auch die Wechselrichter modular ausgeführt, was ein hohes Maß an Verfügbarkeit durch Redundanz ermöglicht. Für den Kunden hat dies den Vorteil einer geringeren Anfangsinvestition verbunden mit der Möglichkeit, die Infrastruktur bei wachsendem Geschäft flexibel auszubauen.

Die PCS100 MV UPS ist mit Nennleistungen im Multi-Megawattbereich erhältlich und bietet maßgeschneiderte Lösungen

für große IT-, Unternehmens- und Produktionseinrichtungen. Die PCS100 MV UPS wurde entwickelt, um Kunden mit hohem Stromverbrauch eine saubere, zuverlässige und effiziente Stromversorgung zu günstigen Kosten sicherzustellen. Die verwendete netzinteraktive Topologie ist eine natürliche Wahl für die Mittelspannung, denn die Verluste sind extrem niedrig, sodass Wirkungsgrade von deutlich über 99% erreicht werden können. Die PCS100 MV UPS kann zum Schutz der gesamten Stromversorgung oder einzelner empfindlicher Lasten installiert werden.

#### MS-USV nur für große Anwendungen?

In der Industrie zeichnet sich ein zunehmender Trend in Richtung einer höheren Leistungsdichte und eines steigenden Gesamtleistungsbedarfs an einzelnen Standorten, verbunden mit steigenden Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Stromversorgung in IT-, Geschäfts- und Produktionseinrichtungen ab. Darauf müssen die Lösungsanbieter mit geeigneten USV und Verteilungskonzepten reagieren, und der Schritt zur Mittelspannung ist nur logisch. MS-Systeme reduzieren Kabelgrößen und Verluste, was die Gesamteffizienz erhöht. Außerdem kann mithilfe integrierter, leistungsstarker MS-USV-Systeme die Zahl der erforderlichen Komponenten (z. B.

Schaltanlagen und Verkabelungen) sowie der Platzbedarf reduziert werden – ein äußerst wertvoller Beitrag an Standorten mit hohen Immobilienpreisen oder begrenztem Platzangebot. Eine MS-USV ermöglicht eine klare Systemkonfiguration und hält die Komplexität in überschaubaren Grenzen.

#### Perry Field

ABB Discrete Automation and Motion  
Napier, Neuseeland  
perry.field@nz.abb.com

#### Weiterführende Literatur

Mehr über die Leistungsschutzlösungen von ABB erfahren Sie unter [www.abb.com/ups](http://www.abb.com/ups)

#### Literaturhinweise

- [1] F. Herbener (März 2013): „Isolated-Parallel UPS Configuration“. Verfügbar unter <http://www.piller.com/documents/en/2129/isolated-parallel-ups-configuration-en.pdf>





# Ein Blick auf Windows

Windows XP hat das Ende seiner Lebensdauer erreicht – was sind die Folgen?

VOLKER JUNG, ANTHONY BYATT – Das erfolgreiche und äußerst populäre Betriebssystem Windows XP von Microsoft ist mittlerweile über zehn Jahre alt. Doch auch wenn rund 30 % der Windows-Nutzer weltweit noch immer XP verwenden, kann ein so altes Betriebssystem nicht ewig unterstützt werden. Dementsprechend hat Microsoft den Support für XP am 8. April 2014 eingestellt. Das bedeutet, dass es keine neuen Sicherheitsupdates,

keine neuen Patches und keinen aktiven Support mehr gibt. Die Folge ist, dass XP langsam unsicher, unzuverlässig und mit einem Großteil der neuen IT-Hardware wie PCs, PC-Komponenten, Netzwerkgeräten und Druckern inkompatibel wird. Mit anderen Worten, das Ende der XP-Ära hat Auswirkungen auf viele industrielle Anwendungen und erfordert ein proaktives Handeln der Nutzer.

den? Welche Unterstützung steht bei einer Migration auf ein neues System zur Verfügung?

Die Antworten auf diese Fragen waren nicht immer einfach und es wurde schnell deutlich, dass durch das Ende des XP-Supports in der Tat erhebliche Probleme aufgeworfen wurden. Diese lassen sich in vier Hauptkategorien einteilen:

- Sicherheit
  - Compliance
  - Fehlende Unterstützung von unabhängigen Softwareanbietern
  - Unterstützung von Hardwareherstellern
- Von all diesen Aspekten ist die Sicherheit an kritischsten.

### Windows XP-Sicherheitsupdates

Im Jahr 2010 sorgte der Stuxnet-Wurm weltweit für Schlagzeilen, als das nur 500 kB große Schadprogramm mindestens 14 Industrieanlagen im Iran, darunter eine Anlage zur Urananreicherung, infizierte. Der Stuxnet-Angriff verlief in drei Phasen: Zuerst infizierte der Wurm Rechner und Netzwerke auf Microsoft-Windows-Basis. Dann spürte er (ebenfalls Windows-basierte) Software auf, die zur Programmierung industrieller Steuerungssysteme verwendet wurde, um schließlich in die zur Steuerung von Maschinen verwendeten speicherprogrammierbaren Steuerungen einzugreifen.

Seit Stuxnet ist die zielreiche industrielle IT-Landschaft einer ständigen, immer raffinierter werdenden Bedrohung ausgesetzt. Ein Beispiel ist die sogenannte Watering-Hole-Strategie zur Einschleusung von Schadsoftware in die Zielsysteme. Dabei infiziert der Angreifer Websites, die vom Zielunternehmen häufig genutzt werden. Danach braucht er nur zu warten, bis sein Opfer die Site besucht und unwissentlich die Malware auf seinen Computer herunterlädt. Diese als SWC (Strategic Web Compromise) bezeichnete Taktik trifft das Opfer unwissentlich, da die infizierten Websites zuvor vertrauenswürdig waren.

Eine weitere Möglichkeit ist die Manipulation vorhandener echter Benutzerprofile auf einem System, um Außenstehenden Zugang zu verschaffen. Auch PC-Konfigurationen können manipuliert werden, um diese für sogenannte RATs (Remote Access Trojans) zu nutzen. Dies sind Schadprogramme, die dem Angreifer administrative Kontrolle über den Ziel-

## 1 Betroffene Steuerungs-/MMS-Systeme (MMS = Mensch-Maschine-Schnittstelle)

System/HMI	Anmerkung
System 800xA	800xA-Kernsysteme (V5.0 und älter)
Freelance	Freelance-Systeme (V6.2–V9.1)
Power Generation Portal/Tenore	Alle Windows-basierten Versionen
Conductor NT	Alle Windows-basierten Versionen; entscheidend ist die Zahl der Server, nicht die Zahl der Systeme
Process Portal B	Alle Versionen

computer geben. RATs können z. B. über einen E-Mail-Anhang auf einen PC geschleust werden.

Ist das Hostsystem infiziert, kann es der Angreifer nutzen, um weitere RATs zu verbreiten und ein sogenanntes Botnet einzurichten – eine Gruppe von infizierten Computern, die zusammen genutzt werden, um weiteren Schaden anzurichten.

Da ein RAT die Kontrolle über einen Computer ermöglicht, kann ein Angreifer das Verhalten des Computernutzers mithilfe von Keyloggern oder anderer Spyware überwachen, eine Webcam aktivieren, auf vertrauliche Daten zugreifen, Laufwerke formatieren, Dateien löschen oder verändern usw.

Im Juni 2014 sorgte die Havex-Trojanerfamilie für Schlagzeilen, als diese Steuerungssysteme in verschiedenen Industriezweigen einschließlich des Energiesektors befiel. Eine Hauptkomponente von Havex ist ein RAT. Der Trojaner infizierte Websites von Herstellern industrieller Leitsysteme (ICS) und SCADA-Systemen (Supervisory Control and Data Acquisition). Insgesamt wurden 146 Server von 88 Varianten des Havex-Trojaners angegriffen, und 1.500 IP-Adressen wurden verfolgt, um mögliche Opfer zu finden. Zweifellos stellte Havex eine ernstzunehmende Bedrohung für die Industrie dar.

Im Juli 2014 infizierte der Virus „Energetic Bear“ über 1.000 Energieunternehmen in Europa und den USA. Dieser Virus bietet Hackern theoretisch die Möglichkeit, die Kontrolle über Kraftwerke zu übernehmen.

Diese Beispiele zeigen, wie angreifbar die industrielle IT-Umgebung offensichtlich




**E**s gab Zeiten, in denen hätte man nicht daran gedacht, eine industrielle Anwendung auf Microsoft Windows zu betreiben. Als Microsoft vor über zehn Jahren aber das Betriebssystem Windows XP auf den Markt brachte, wurde die Industrie aufmerksam. Windows XP bot die von vielen industriellen Nutzern benötigte Stabilität, Flexibilität und Funktionalität und wurde bald für jede denkbare Art von Anwendung eingesetzt.

Doch alles hat ein Ende: Am 8. April 2014 endete die Ära Windows XP, als Microsoft den Support für das Produkt einstellte. Natürlich hat Microsoft seine Kunden rechtzeitig informiert, und viele Unternehmen haben sich seit Jahren auf die Umstellung vorbereitet. Dennoch blieben eine ganze Reihe von Fragen offen: Könnte ein autonomes XP-System weiterhin unbeeinflusst laufen? Was würde passieren, wenn das XP-System in ein anderes integriert würde? Wäre neue Hardware erforderlich, und was würde dies für das gesamte Unternehmen kosten? Welches Budget wäre für die Umstellung notwendig? Könnte das Problem durch Virtualisierung gelöst wer-

#### Titelbild

Microsoft hat die Unterstützung für Windows XP am 8. April 2014 eingestellt. Was bedeutet dies für industrielle Nutzer?

## 2 XP-Upgradestrategien

		Controller				
800xA	3.1	Alle	→	800xA	5.1	6.0
	4.0					
	4.1					
	5.0					
Freelance	6.2	Alle	→	Freelance	2013	2015
	7.1					
	7.2					
	8.1					
	8.2					
Conductor NT	Alle	DCI	→	800xA	5.1	6.0
		Freelance	→	Freelance	2013	2015
			→	800xA	5.1	6.0
		Harmony	→	800xA	5.1	6.0
→	Symphony +		2.0			
PPB	Alle	MOD 300	→	800xA	5.1	6.0
		Freelance	→	Freelance	2013	2015
			→	800xA	5.1	6.0
		Harmony	→	800xA	5.1	6.0
→	Symphony +		2.0			
PGP/Tenore	Alle	Freelance	→	Freelance	2013	2015
			→	800xA	5.1	6.0
		Harmony	→	800xA	5.1	6.0
			→	Symphony +	2.0	

lich ist. Ohne die wichtigen Windows XP-Sicherheitsupdates sind PCs Angriffen durch Viren, Spyware und andere Schadsoftware ausgeliefert, die Geschäftsdaten oder -informationen stehlen oder beschädigen können. Antiviren-Software bietet keinen vollständigen Schutz für XP-Systeme mehr. Jedes Gerät, das weiterhin mit XP betrieben wird, kann von Angreifern als Zugangspunkt zu IT-Netzwerken genutzt werden. Das bedeutet, dass auch Computer, die unterstützte Betriebssysteme nutzen, geschädigt werden können.

### Hardware

Die meisten Hersteller von PC-Hardware, Druckern und Netzwerkgeräten haben ihre Unterstützung von Windows XP bereits eingestellt. Das bedeutet, dass die Softwaretreiber, die erforderlich sind, um neue Hardware unter Windows XP zu betreiben, in den meisten Fällen nicht mehr verfügbar sind. Mit anderen Worten, es gibt keine XP-Treiber für neue Festplatten, Drucker, Grafikkarten, Netzwerkgeräte usw. Der Kauf eines neuen XP-Computers als Ersatz wird nicht leicht bzw. nicht günstig. XP-basierte Hardware wird zunehmend veraltet und immer schwerer zu finden sein. Die Zahl der ungeplanten Abschaltungen aufgrund nicht verfügbarer Hardwarekomponenten wird hingegen zunehmen.

### Compliance

Unternehmen, die aufsichtsbehördlichen Verpflichtungen wie dem US-amerikani-

sehen Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) zum Schutz von Patientendaten unterliegen, sind möglicherweise nicht mehr in der Lage, diese Anforderungen zu erfüllen, wenn sie an Windows XP festhalten. Angesichts der großen Menge an persönlichen und privaten Daten, die mittlerweile auf Servern gespeichert sind, ist die Datensicherheit eine äußerst wichtige Angelegenheit.

### Fehlende Unterstützung von unabhängigen Softwareanbietern

Viele Softwareanbieter unterstützen ihre Produkte, die auf Windows XP laufen, nicht mehr, da sie keine Updates für Windows XP mehr bekommen. So nutzt das neue Microsoft Office-Paket z.B. das neueste Windows und läuft nicht unter Windows XP.

### Was ist zu tun?

Angesichts so vieler Probleme, die es zu lösen gilt, stellt sich die Frage, wie man vorgehen sollte. Microsoft und alle IT-Sicherheitsunternehmen empfehlen den Upgrade auf Windows 7 oder 8. Dies gilt auch für Anbieter von Leitsystemen mit Steuerungssystemen, die mit Windows XP oder älteren Betriebssystemen laufen → 1-2.

Natürlich kann man die Kosten für einen Upgrade den Kosten gegenüberstellen, die zur Sicherung der XP-Installationen erforderlich wären. Das Festhalten an Windows XP ist mit einem hohen Wartungsaufwand verbunden und erfordert Tools und Unterstützung von erfahrenen IT-Sicherheitsunternehmen. Zu den erforderlichen Maßnahmen gehören unter anderem:

– Reduzierung der Registry auf die absolut notwendigen Dienste

- Nutzung von DNS-Sinkholes (Domain Name Server), um den Zugang zur echten Website zu blockieren
- Ausgabe eines Alarms, wenn eine von einem Endpunkt initiierte Remote-Desktop- oder virtuelle Netzwerkverbindung erkannt wird.
- Verhindern der Ausführung von Binärcode für temporäre Benutzer im Dateisystem oder Ausgabe eines Alarms, wenn dies passiert.
- Whitelisting der Binärdateien von Diensten im Betriebssystem
- Ausgabe eines Alarms für Starts/ Stopps/Änderungen von Diensten
- Prüfung von Zugriffskontrolllisten usw.
- Durchführung von regelmäßigen Backups des Steuerungssystems
- Beschaffung eines Vorrats an kompatiblen IT-Teilen

Ein Festhalten an Windows XP ist meist nicht möglich. Evolutionäre Software-upgrades sind ein unvermeidlicher Teil des industriellen IT-Lebens, und der Upgrade von Windows XP gehört zu den bedeutenderen Schritten. Durch ihn sind Nutzer bestens gerüstet, um die Anforderungen der modernen industriellen IT-Welt in puncto Sicherheit, Hardware, Software und Compliance zu erfüllen.

ABB empfiehlt Kunden mit Betriebssystemen auf der Basis von Windows XP dringend, die Lebenszykluspläne für ihre Systeme und ihre Strategien zur Risikominderung zu evaluieren. Gleichzeitig bietet ABB Lösungen, die die Risiken beseitigen oder mindern und Kunden dabei helfen, ihre Anlagen und Mitarbeiter besser zu schützen und gleichzeitig einen sicheren Betrieb und eine kontinuierliche Produktion sicherzustellen. Für die Bedürfnisse jedes Kunden stehen entsprechende Services zur Verfügung – auch für Kunden, die nicht in der Lage sind, sofort aufzurüsten, oder sich entschieden haben, bei Windows XP zu bleiben.

### Volker Jung

Process Automation Division  
Mannheim, Deutschland  
volker.jung@de.abb.com

### Anthony Byatt

Redaktioneller Berater  
Louth Village, Irland





# Der nächste Schritt

Die PASS-Hybridschaltanlagentechnik von ABB ist jetzt für 420 kV verfügbar

ALBERTO ZULATI – PASS (Plug And Switch System) ist die Bezeichnung für eine Familie von vormontierten, vorgeprüften und leicht zu transportierenden Hochspannungs-Hybridschaltanlagen von ABB. Da keine Hochspannungsprüfungen vor Ort erforderlich sind, können sie in kürzester Zeit installiert und in Betrieb genommen werden. Seit Kurzem sind die Schaltanlagen auch für Anwendungen mit 72,5 kV bis 420 kV erhältlich.



Mit einem installierten Bestand von über 8.000 Einheiten gab ABB im Jahr 2013 die Einführung der hybriden Hochspannungs-Schaltanlage PASS MOS 420kV bekannt.

Für viele gab es im Hochspannungsbereich lange Zeit entweder luftisolierte Schaltanlagen (AIS) oder gasisolierte Schaltanlagen (GIS). Meist bestimmten die Platzverhältnisse die Wahl, wobei GIS den Bau deutlich kompakterer, aber auch teurerer Unterstationen ermöglichen. Einfach ausgedrückt wurden AIS vornehmlich für ländliche Gebiete gewählt, während in Städten meist GIS zum Einsatz kamen. Dieses Bild änderte sich vor ca. 20 Jahren grundlegend mit der Einführung der PASS-Technologie von ABB.

#### PASS

Das PASS-Konzept verbindet die Vorteile der AIS- und der GIS-Technik in einer sogenannten Hybridschaltanlage oder, um den Begriff der CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques) zu verwenden, einer „gemischten“ Schaltanlage (Mixed Technology Switchgear, MTS). Auch wenn die Grund-

kosten und kürzeren Bauzeiten – normalerweise niedriger. Laut CIGRE „zeigt der Vergleich mehrerer Technologien, dass MTS viele Vorteile von AIS und GIS vereinen und einen guten Kompromiss darstellen“ [1]. Eine Fallstudie der CIGRE kommt zu dem Schluss, dass sich durch den Einsatz von MTS-Anlagen erhebliche Einsparungen bei den Gesamtbetriebs-

kosten erzielen lassen, auch wenn die Grundkosten der Ausrüstung höher sind. Die Einsparungen sind direkt mit den Grundstückskosten verbunden. Außerdem werden die Bauzeiten verkürzt. Diese Ergebnisse wurden

durch ein Pilotprojekt zum Bau von drei Unterstationen in Vorstadtgebieten bestätigt. Zu den unerwarteten Vorteilen

Mit dem neuen Modul deckt die PASS-Produktfamilie nun Spannungen von 72,5 bis 420 kV mit Ausschaltströmen von 31,5 bis 63 kA ab.

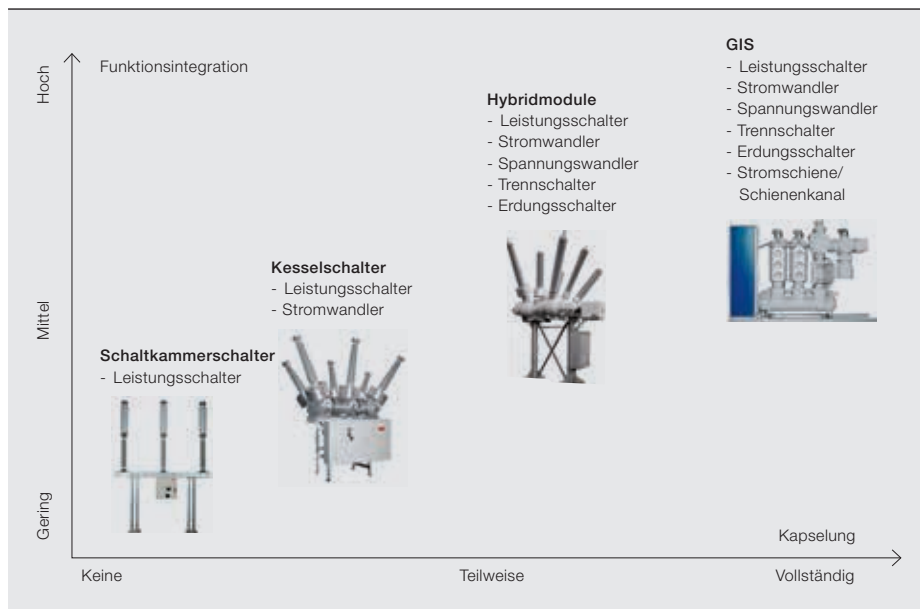
kosten von MTS höher sind als die von AIS, sind die Gesamtbetriebskosten – aufgrund von niedrigeren Grundstücks-

#### Titelbild

Die PASS-Schaltanlagen von ABB vereinen die Vorteile von luftisolierten und gasisolierten Schaltanlagen in einem hybriden Produkt. Die PASS-Technologie ist nun für Anwendungen bis 420 kV erhältlich.

Das PASS-Hybridmodul für 420 kV stellt einen technischen Durchbruch dar, denn es bietet trotz seiner Größe alle Vorteile der PASS-Familie.

## 1 Die MTS-Technologie ist zwischen AIS und GIS angesiedelt



gehörten eine einfachere Genehmigung durch die geringere optische Störwirkung der Unterstation und einfachere Verhandlungen beim Grundstückskauf durch den geringeren Flächenbedarf. [2]

PASS-Anlagen nutzen GIS-Technik für die Haupttrennkomponenten des Leistungsschalters und Trenn-/Erdungsschalters, was eine hohe Zuverlässigkeit und Kompaktheit gewährleistet. Gleichzeitig verwenden sie AIS-Technik für den Netzanschluss, womit sie sich zwischen AIS und GIS positionieren → 1.

Das PASS-Konzept bietet eine zuverlässige, wartungsarme Lösung für den Bau von Unterstationen, die sich dank des modularen und flexiblen Aufbaus für eine Vielzahl von Anwendungsfällen eignet:

einen einfachen Transport des gesamten Schaltfelds ermöglichen.

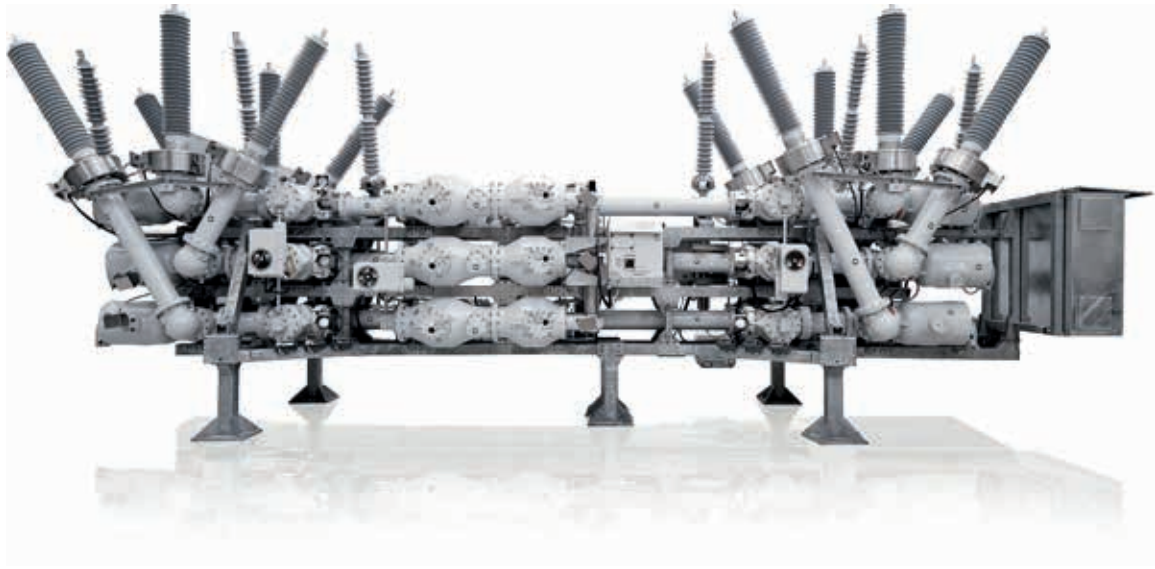
- Erweiterung und Nachrüstung dank der Kompatibilität mit allen Arten von GIS-, AIS- oder hybriden Unterstationen.
- Unter rauen klimatischen Bedingungen oder in stark verschmutzten Umgebungen wie Industrieanlagen oder Bergwerken. PASS ist für diese Bedingungen bestens geeignet, da alle spannungsführenden Teile SF<sub>6</sub>-isoliert und von einem geerdeten Aluminiumbehälter geschützt sind. ABB hat bereits eine Vielzahl von Referenzanlagen dieser Art installiert.
- Projekte mit kurzen Laufzeiten, die einen schnellen Netzanschluss erfordern, z. B. zur Wiederversorgung in Notfällen oder in entlegenen/gefährlichen Bereichen.

Die PASS-Anlage wird vollständig montiert und geprüft geliefert, sodass keine Hochspannungsprüfung vor Ort erforderlich ist und eine schnelle Installation und Inbetriebnahme gewährleistet sind.

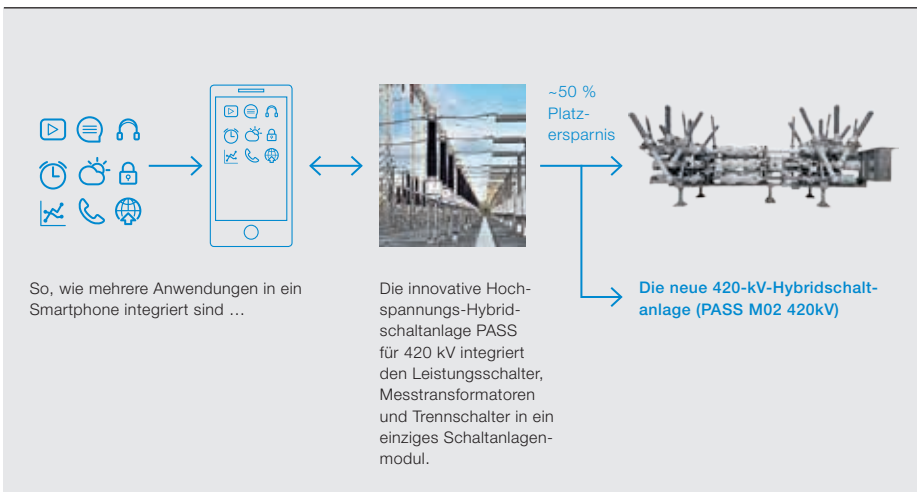
**Die vormontierte und werksgeprüfte PASS MOS 420kV ist einfach zu transportieren und schnell installierbar, ohne dass aktive Teile am Einsatzort montiert werden müssen.**

- Einsatzorte mit begrenztem Platzangebot, da der Flächenbedarf im Vergleich zu AIS-Unterstationen um 50 bis 70 % kleiner ausfällt.
- Gestellmontierte oder mobile Anwendungen, da die kompakten Module
- Eisenbahnanwendungen, da ein- bzw. zweiphasige Module mit verschiedenen Frequenzen verwendet werden können. Derzeit sind mehr als 200 Module in Frequenzumrichtern oder Bahnunterwerken in Betrieb.





3 Ein PASS-Modul integriert die Funktionalität vieler Teilsysteme in ein Produkt.



Die PASS M0S 420kV kann als einziges 420-kV-Schaltanlagenmodul ab Werk als mobile Komplettlösung auf einem Anhänger oder Gestell montiert und transportiert werden.

**PASS M0S 420kV**

Seit der Einführung der PASS hat sich die Hybridtechnik als attraktive Alternative zu AIS oder GIS bewährt. Andere Hersteller sind dem Beispiel von ABB gefolgt und bieten ebenfalls hybride Schaltanlagen an. ABB hat jedoch ihre Vorreiterrolle auf diesem Gebiet behalten und das PASS-Angebot ausgebaut, um weitere Anwendungen und Märkte zu bedienen.

Mit einem installierten Bestand von über 8.000 Einheiten gab ABB im Jahr 2013 die Einführung der hybriden Hochspannungs-Schaltanlage PASS M0S 420kV bekannt. Mit diesem neuen 420-kV-Modul deckt die PASS-Produktfamilie nun Spannungen von 72,5 bis 420 kV mit Ausschaltströmen von 31,5 bis 63 kA ab. Neben den Standardmodulen steht mit

der PASS M0H ein vollständiges Hochspannungsschaltfeld mit „H“-Konfiguration als transportable Einheit zur Verfügung → 2.

Das PASS-Hybridmodul für 420 kV stellt einen technischen Durchbruch dar, denn es bietet trotz seiner Größe alle Vorteile der PASS-Familie. Dazu gehören z. B. die integrierte Funktionalität von Leistungsschalter, Trennschalter und Erdungsschalter sowie von Strom- und Spannungswandlern, womit jedes PASS-Modul ein vollwertiges Schaltfeld darstellt → 3. Die vormontierte und werksgeprüfte PASS M0S 420kV ist einfach zu transportieren und schnell installierbar, ohne dass aktive Teile am Einsatzort montiert werden müssen. Damit ist sie das einzige 420-kV-Schaltanlagenmodul, das vollständig montiert auf der Baustelle eintrifft

#### 4 Eines der einzigartigen Merkmale der PASS M02 420kV ist der einfache Transport.



24  
Stunden



Die neue PASS für 420 kV ist vormontiert, werksgeprüft und wird als ein Schaltfeld versandt. Installationszeit vor Ort: nur 24 Stunden

Die bedeutendste Innovation der PASS 420kV sind ihre drehbaren Durchführungen.

#### 5 Durchführungen der PASS M0S 420kV in Transportstellung



und so eine schnelle Installation und Inbetriebnahme ermöglicht → 4. Weitere Vorteile der PASS M0S 420kV sind:

- Einfache Wartung: Da alle aktiven Teile gasisoliert sind, entfällt die regelmäßige Reinigung der Kontakte. Durch die Kapselung werden außerdem der Zeit- und Kostenaufwand für die Instandhaltung gesenkt und die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit erhöht. Viele Arbeiten können ohne Ausfälle durchgeführt werden.
- Sie ist in hohem Maß an die Bedürfnisse von Kunden anpassbar, wobei die Lieferzeiten dank des modularen Aufbaus kurz bleiben.
- Die Stahlkonstruktion ist so kompakt, dass ein geringerer baulicher Aufwand erforderlich ist.
- Sie kann ab Werk als mobile Komplettlösung auf einem Anhänger oder Gestell montiert und transportiert werden.
- Die Zeit bis zum Einschalten ist kürzer
  - weniger als eine Woche für ein 420-kV-Schaltfeld.

#### Drehbare Durchführungen

Eine der größten Herausforderungen bei der Entwicklung bestand darin, trotz der großen Abmessungen die Transportfähig-

keit eines vollständig montierten 420-kV-Moduls zu gewährleisten. Wie so häufig war auch hier die Herausforderung die Triebfeder für eine innovative Lösung. Die bedeutendste Innovation der PASS 420kV sind ihre drehbaren Durchführungen. Um den Transport der vollständig montierten Anlage zu ermöglichen, werden die 3,6 m langen und 350 kg schweren Isolatoren im Werk aus der Betriebs- in die Transportstellung und am Einsatzort wieder zurückgedreht. Ermöglicht wird dies durch eine innovative und äußerst sichere Drehvorrichtung, mit der jede Durchführung in weniger als 30 Sekunden gedreht werden kann.

Das geometrische Prinzip ist einfach: Jede Durchführung ist mit der restlichen Anlage über zwei gebogene, gasisolierte Anschlussstücke verbunden, die jeweils aus einem Aluminiummantel und innenliegenden elektrischen Verbindungen bestehen. Die Schnittstelle zwischen den beiden Anschlussstücken ist geneigt, sodass durch Drehen des oberen Teils (an dem die Durchführung montiert ist) die Durchführung aus einer nahezu horizontalen Lage für den Transport in eine nahezu vertikale Stellung für den Betrieb gebracht wird → 5–6.



Zum Transport der vollständig montierten Anlage werden die Isolatoren im Werk aus der Betriebs- in die Transportstellung und am Einsatzort wieder zurückgedreht.

Beim Drehen ist die Ausrüstung mit Gas unter einem Druck von 0,2 bar (relativ) gefüllt, was dem typischen Transportdruck entspricht. Eine besondere Eigenschaft der drehbaren Schnittstelle ist ihre hohe Gasdichtheit beim Drehen und beim anschließenden Befüllen der Ausrüstung auf den Betriebsdruck.

Die gebogenen Anschlussstücke sind gut abgedichtet. Der untere Teil besitzt Nuten für zwei Dichtungen (eine zur Sicherung), die durch zwei zusätzliche Ringe oberhalb und unterhalb der Dichtungen geschützt sind. Die zusätzlichen Ringe bestehen aus einem speziellen Verbundwerkstoff, der ohne zu verformen hohen radialen Lasten standhalten kann und gleichzeitig eine geringe Reibung gewährleistet.

Der obere Teil besitzt eine Schulter, die beim Einstecken in das untere Anschlussstück auf die Dichtungen und die Zusatzringe wirkt.

Die Durchführungen werden normalerweise nur zweimal gedreht: im Werk in die Transportstellung und am Einsatzort zurück in die Betriebsstellung. Getestet wurde das Dichtungssystem jedoch mit

über 50 Drehvorgängen an derselben Anlage – ohne jede Undichtigkeit. ABB garantiert eine Leckrate von weniger als 0,5 % pro Jahr, was dem gängigen Wert für SF<sub>6</sub>-Hochspannungsgeräte von ABB entspricht.

Neben der Einsteckkupplung zur Abdichtung sind die beiden Anschlussstücke über eine Flanschverbindung mit 12 Schrauben gesichert. Ein Gleitring am Flansch des unteren Gehäuses verringert zusätzlich die Reibung beim Drehen.

Das zum Drehen solch schwerer Bauteile erforderliche Drehmoment wird von einem handelsüblichen Motor bereitgestellt, der über ein 2012 von ABB patentiertes Spezialwerkzeug mit der Drehschnittstelle verbunden wird. Trotz der recht niedrigen Drehzahl des Motors (ca. 2 U/min) dauert eine vollständige Drehung aus der Transport- in die Betriebsstellung nur etwa 30 s.

Das Drehen der Durchführungen ist entscheidend für den Transport der 420-kV-Anlage, da nur so dem Kunden die vielen Vorteile der PASS-Technologie bereitgestellt werden können.

Seit ihrer Einführung hat die PASS 420kV das Interesse einiger Energieversorgungsunternehmen geweckt. ABB hat unter anderem Aufträge aus den USA, Italien und Algerien erhalten und befindet sich in Gesprächen mit Unternehmen in Spanien und Großbritannien. Diese haben erkannt, welche Vorteile eine Lösung bietet, die vollständig montiert und geprüft geliefert wird und binnen kürzester Zeit mit dem Netz verbunden werden kann.

#### Alberto Zulati

ABB Power Products

Lodi, Italien

alberto.zulati@it.abb.com

#### Literaturhinweise

- [1] W. Degen et al., Cigre Working Group B3-20: Broschüre 390 „Evaluation of different switchgear technologies (AIS, MTS, GIS) for rated voltages of 52 kV and above“. November 2008
- [2] W. Degen et al., Cigre Working Group B3-20: Broschüre 390 „Evaluation of different switchgear technologies (AIS, MTS, GIS) for rated voltages of 52 kV and above, Appendix A: Introduction to Mixed Technologies Switchgear“. S. 44–56. November 2008





# Intelligentes Wohnen

Haussteuerung so einfach wie nie

ALEXANDER GRAMS – Einst noch Zukunftsträume, sind intelligente Gebäude mittlerweile Realität geworden. Die ABB-free@home® bzw. Busch-free@home® Haussteuerung bietet den Lifestyle, Komfort und die Sicherheit, die Hausbesitzer sich wünschen.

---

#### Titelbild

Das ABB/Busch-free@home Touchpanel zur Aufputzmontage verfügt über ein hochwertiges TFT-Farbdisplay.



Eine moderne Gebäudeautomatisierung sorgt nicht nur für Energieeffizienz, sondern auch für Komfort und Sicherheit – zwei der wichtigsten Aspekte für Privathaushalte. Die in der Schweiz unter dem Namen ABB-free@home und in Deutschland und Österreich von Busch-Jaeger unter dem Namen Busch-free@home vertriebene Technik vereint alle nützlichen Funktionen einer komfortablen Haussteuerung und ist als System einfach zu bedienen.

ABB/Busch-free@home ist ein zentrales Steuerungssystem, das Bewohnern die Überwachung und Steuerung eines ganzen Wohnbereichs ermöglicht. Dazu gehören Funktionen wie das Dimmen und Schalten der Beleuchtung, Zeitschaltuhr, Jalousiesteuerung, Temperaturregelung und die Integration des ABB/Busch-Welcome Türkommunikationssystems.

Die Funktionen sind vollständig individualisierbar. Sämtliche Einstellungen können jederzeit mithilfe der System-App verändert oder erweitert werden. Dank der App sind die Konfiguration und die Bedienung des Systems so einfach wie das Surfen auf einer Website. Zusätzliche Software ist nicht erforderlich. Die Erstkonfiguration wird vom Elektroinstallateur vorgenommen, spätere Einstellungen und Anpassungen können vom Benutzer plattform-



unabhängig mit jedem Computer oder Tablet mit HTML5 vorgenommen werden.

Dadurch lässt sich die Haussteuerung z. B. einfach an andere Wohnsituationen oder eine veränderte Nutzung der Räume anpassen. Eine wirkungsvolle Beleuchtung kann ebenso einfach eingestellt werden wie individuelle Zeitschaltprogramme zur Steuerung der Heizung und Jalousien → 1.

Die optimale Raumtemperatur lässt sich mit ABB/Busch-free@home ganz individuell und dem tatsächlichen Bedarf entsprechend regeln – abhängig von der Tageszeit und der Funktion des Raums.

Im ECO-Betrieb wird die Temperatur in der Nacht oder bei Abwesenheit automatisch abgesenkt. Bei geöffnetem Fenster kann die Heizung automatisch abgeschaltet werden. Dies senkt den Energieverbrauch, ganz gleich, ob bei herkömmlichen Heizkörpern oder Fußbodenheizungen.

Die Benutzeroberfläche kann auf einem Computer, Tablet oder Smartphone aufgerufen werden. Sämtliche Funktionen sind intuitiv bedienbar. Die ABB/Busch-free@home App optimiert alle Abbildungen für die Darstellung auf mobilen Geräten.

Der System Access Point ist das zentrale Element des ABB/Busch-free@home Systems und unterstützt Projektierung, Einrichtung und Visualisierung gleichzeitig → 2. Er bietet Zugang für Computer, Tablets oder Smartphones per WLAN. So können die Funktionen der Anlage definiert und ferngesteuert werden – auch nachträglich. Zusätzlich kann der System Access Point per LAN oder WLAN mit einem Router im Netzwerk verbunden werden.

Für eine komfortable Inbetriebnahme verfügt der System Access Point über ein eigenes WLAN und die für die Projektierung und Inbetriebnahme nötige Software. So ist der Installateur von den baulichen Gegebenheiten unabhängig und benötigt keine weitere Software. Nach Abschluss der Programmierung kann diese als Backup im System Access Point gespeichert und bei Bedarf wiederhergestellt werden.

Durch die 2-Draht-Bus-Technik ist die Installation von ABB/Busch-free@home denkbar einfach. Das Buskabel kann in demselben Kanal wie das Stromkabel verlegt werden, es ist keine spezielle Leitungsführung oder ein eigener Kabelkanal erforderlich.

ABB/Busch-free@home bietet verschiedene Unterputz-Geräte zum Schalten und Steuern von Signalen wie Licht und Temperatur. Mit ihnen lassen sich die gewünschten Funktionen so einfach installieren wie eine Steckdose.

Die ABB/Busch-free@home Aktoren erhalten die Signale von Schaltern und Sensoren und setzen diese um. Die Aktoren können zentral in einem Unterputz-Schrank oder dezentral in Unterputz-Wanddosen installiert werden.

ABB/Busch-free@home entspricht den internationalen Normen IEC 60669 und IEC 50428. Sämtliche Geräte für ABB/Busch-free@home werden ökologisch verträglich gemäß RoHS-Richtlinie hergestellt.

### Alexander Grams

ABB Low Voltage Products, Wiring Accessories  
Lüdenscheid, Deutschland  
alexander.grams@de.abb.com

# Gut verdrahtet

Steckbare  
Verbindungen und  
vorverdrahtete  
Lösungen steigern  
die Produktivität



**VINCENT MENAGER – Die Globalisierung im Bereich der elektrischen Ausrüstungen zwingt Originalgerätehersteller (OEMs) dazu, sich auf internationalen Märkten zu engagieren. Bei dem dort herrschenden intensiven Wettbewerb sind die traditionellen Eins-zu-eins-Methoden, die bisher zur Verdrahtung von Bedientafeln, Feldgeräten usw. verwendet wurden, nicht mehr wirtschaftlich. Zu den neu entwickelten Verdrahtungsverfahren gehören vorverdrahtete Lösungen mit steckbaren Reihenklemmen und anschlussfertige Kabelbäume.**

**L**aut einer alten, aber sehr wahren Redensart in der Industrie sind die drei häufigsten Gründe für Ausfälle Kabel, Kabel und Kabel. Verdrahtungsfehler können nicht nur zu Projektverzögerungen und hohen Strafzahlungen führen, sie können auch den Ruf eines Unternehmens ruinieren. Diese Faktoren – und ein zunehmender globaler Wettbewerb – zwingen die Hersteller dazu, neue und effizientere Verdrahtungskonzepte in Form von modularen, steckbaren und vorverdrahteten Lösungen zu entwickeln.

#### Montageflexibilität durch Modularität

Bei einem modularen Verdrahtungskonzept werden Baugruppen und Unterbaugruppen separat – häufig von spezialisierten Auftragnehmern – gefertigt und nur zum Testen und bei der endgültigen Installation zusammengesetzt. Baugruppen können einzeln auf Modulebene getestet werden, was die Komplexität der Prüfausrüstung reduziert. Da die Module standardisiert sind, lassen sie sich bei Änderung der Verdrahtung – z. B. zur Fehlersuche – einfach austauschen. Modularität ermöglicht Ausrüstungsherstellern eine große Flexibilität.

Doch eine modulare Bauweise wäre sinnlos ohne eine steckbare Funktionalität.

#### Verdrahtungsflexibilität durch steckbare Funktionen

Im Gegensatz zu traditionellen Reihenklemmen verfügt eine steckbare Reihenklemme über einen herausnehmbaren Stecker, der eine schnelle Montage oder Demontage der Ausrüstung ermöglicht.

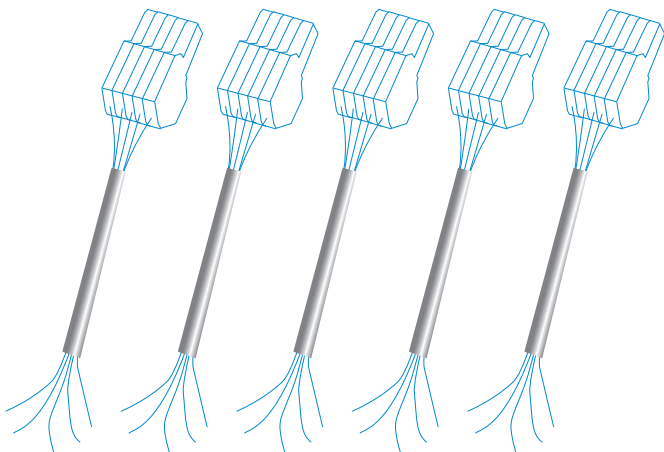
Steckbare Reihenklemmen unterscheiden sich in der verwendeten Technik (schraubenlose Verbindung, Schraubverbindung, Schneidklemmtechnik usw.) und der Anzahl von Anschlüssen, Steckern und Stromkreisen. ABB bietet ein vollständiges Sortiment an steckbaren Reihenklemmen, z. B. das PI-Federzugsystem (das Push-In- und Federanschlussstechnik verbindet) und das ADO System® für raue Umgebungen sowie Schraubklemmtechnik für allgemeine Anwendungen.

#### Vorverdrahtung

Mithilfe von Steckern lassen sich Kabel leicht zu Kabelbäumen zusammenfassen – eine Aufgabe, die vor der Montage und dem Testen der gesamten Ausrüstung durchgeführt werden kann → 1. Durch die Möglichkeit zur Vorverdrahtung und Vorprüfung können potenziell riskante Fertigungsschritte aus dem kritischen Projektpfad herausgenommen werden. Weitere Vorteile sind:



## 1 Das Zusammenfassen von Kabeln zu Kabelbäumen vereinfacht die Montage und das Testen.



## 2 In modernen Zügen mit viel Elektronik und begrenztem Platz sind steckbare und vorverdrahtete Verbindungen besonders nützlich.



## Steckbare Reihen- klemmen erleich- tern und beschleu- nigen die Montage, Prüfung und Werksinbetrieb- nahme erheblich.

### Serienmäßige Produktion und Prüfung

Mit der Verdrahtung wird normalerweise ein Spezialist beauftragt, der automatische Verdrahtungsmaschinen für die zeitaufwändigen Arbeiten wie Zuschneiden, Abisolieren, Crimpen und Kennzeichnen einsetzt. Dies führt zu einem hochwertigen Produkt und ist für gewöhnlich wesentlich kostengünstiger als die Durchführung der Aufgaben im eigenen Hause. Eine Vorprüfung kann problemlos automatisiert und für die Serienfertigung eingerichtet werden.

### Montage, Prüfung und Werksinbetriebnahme

Vor Auslieferung der Ausrüstung an den Endkunden muss diese im Werk montiert und vollständig geprüft werden. Dieser Vorgang wird durch die Verwendung von steckbaren Reihenklemmen erheblich beschleunigt.

### Titelbild

Die Vorverdrahtung ist ein wichtiges Werkzeug für die Hersteller elektrischer Ausrüstungen (das Bild zeigt eine steckbare Reihenklemme von ABB).

### Transport und Installation

Größere Systeme müssen ggf. vor dem Versand demontiert und vor Ort wieder montiert werden. Auch dies wird durch steckbare Reihenklemmen deutlich vereinfacht. Außerdem garantieren schraubenlose Technologien wie das ABB PI-Federzug- oder ADO System eine vibrations sichere und stoßfeste Verbindung und eignen sich somit ideal für Ausrüstungen, die bereits verdrahtet verschickt werden müssen.

### Eisenbahn

Vorverdrahtete Lösungen leisten einen bedeutenden Beitrag zu Effizienzsteigerungen, wie sie von europäischen Schienenfahrzeugherstellern angestrebt werden, um dem globalen Preisdruck zu begegnen. ABB ist ein führender Anbieter von Reihenklemmen – insbesondere in steckbarer Ausführung – für den Bahnsektor → 2.

Die ABB-Reihenklemmen mit PI-Federzug sind kompakt (der Platz für die elektrische Ausrüstung in Zügen ist begrenzt), stoß- und vibrationsfest und somit ideal zur Herstellung zuverlässiger Verbindungen in Zügen geeignet. Die Reihenklemmen mit ADO System ermöglichen neben sicheren und zuverlässigen Verbindungen eine erhebliche Steigerung der Produktivität. Die Verbindungssysteme sind gemäß neuesten internationalen Normen für Bahnfahrzeuge wie der IEC 61373 für Schwingungen und Stöße und der EN 45545-2/NFPA 130 für die Brennbarkeit und Giftigkeit von Kunststoffen geprüft.

### Prozessautomatisierung

In Prozessautomatisierungsanwendungen werden nicht selten Tausende von Signalen übertragen. Auch hier bieten vorverdrahtete und steckbare Lösungen eine erhebliche Vereinfachung des Systems und eine höhere Zuverlässigkeit der Verdrahtung. Mit dem ABB-Vorverdrahtungssystem Interfast für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und digitale Leitungssysteme (DCS) kann die Installationszeit z. B. um bis zu 98 % reduziert werden.

### Schaltanlagen

Der Bereich der Schaltanlagen systeme entwickelt sich ständig weiter, und neuere Produkte enthalten neben hochentwickelter Elektronik auch digitale Kommunikationsmöglichkeiten. Die steckbaren Reihenklemmen der ABB SNK-Serie vereinfachen die Erweiterung dieser komplexen Schaltanlagen systeme. Der Doppelstecker-Anschluss der SNK-Klemmen ermöglicht ein Durchschleifen von Signalen und eine einfache Erweiterung des Systems.

Eisenbahn, Prozessautomatisierung und Schaltanlagen sind nur drei Bereiche, in denen vorverdrahtete Lösungen wirkungsvoll eingesetzt werden können. Steckbare Reihenklemmen und vorverdrahtete Lösungen können in allen Anwendungen mit einem hohen Verdrahtungsaufwand zur Steigerung der Produktivität beitragen.

### Vincent Menager

ABB France  
Chassieu, Frankreich  
vincent.menager@fr.abb.com

## ZÄHMUNG DER LEISTUNG

ABB Review Reihe



# Zähmung der Leistung

Beherrschung komplexer Instabilitäten mithilfe  
fortschrittlicher numerischer Verfahren

ALF ISAKSSON, SILVIA MASTELLONE – Ein modernes Stromnetz stellt einen komplexen technischen Prozess dar, der von der Energieerzeugung über die Übertragung, Verteilung und Umwandlung bis hin zu den Verbrauchern reicht, die die elektrische Energie nutzbar machen. Jede Verbindung in einem solchen Netz umfasst heterogene, dynamische Teilsysteme, die auf komplexe Weise miteinander interagieren. Ihr individuelles und kollektives Verhalten vorherzusagen und zu steuern, stellt eine bedeutende Herausforderung dar, die jedoch bewältigt werden muss, wenn das Netz optimal funktionieren soll. In einer Reihe von Artikeln befasst sich die ABB Review mit möglichen Instabilitäten, die an verschiedenen Stellen des elektromechanischen Energieversorgungssystems auftreten können, und zeigt, welche Rolle numerische Verfahren bei deren Bewältigung spielen.

# In einer Öl- und Gasanlage kann eine betriebliche Instabilität zur Abschaltung der gesamten Anlage und unwiderruflichen Produktionsverlusten führen.

weise auf der Ebene der einzelnen Teilsysteme. Doch nachdem die Teilsysteme miteinander verbunden sind, werden die Stabilitätseigenschaften nicht notwendigerweise auf das Gesamtsystem übertragen.

Tatsächlich können Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen zu einer schlecht gedämpften Reaktion des Systems und zu einem unerwünschten Schwingungsverhalten führen.

Eine solche Instabilität kann sich auf verschiedene Weise äußern – von einer moderaten Minderung der Leistungsfähigkeit bis hin zu einer schwerwiegenden systemweiten Abschaltung.

In einer Öl- und Gasanlage kann eine betriebliche Instabilität z. B. zur Abschaltung der gesamten Anlage und unwiderruflichen Produktionsverlusten führen. Ein anderes Beispiel sind Leistungspendelungen im Übertragungsnetz, die schwerwiegende Folgen bis hin zum Totalausfall (Blackout) haben können.

Genau diese komplexen Szenarien verlangen eine detaillierte, systemweite Analyse und Steuerungskonzepte, die hohe Leistungskriterien erfüllen. Tatsächlich ist mit einem intelligenten Steuerungskonzept ein optimaler systemweiter Betrieb nahe an den physikalischen Grenzen möglich, ohne dass zusätzliche physikalische Trägheiten eingebracht werden, die die Reaktion des Systems verlangsamen und erhöhte Kosten verursachen würden.

Ein Schlüsselaspekt auf dem Weg zu einem intelligenteren Steuerungskonzept ist die Fähigkeit zur Durchführung detaillierter Systemanalysen und Entwicklung eines eingehenden Verständnisses des Systemverhaltens sowohl im stationären als auch im

transienten dynamischen Zustand. Darüber hinaus gilt es, die verfügbaren Rechenressourcen und Stellmöglichkeiten zu berücksichtigen. Früher erforderten gehobene Methoden erhebliche Rechenressourcen, was ihren Einsatz häufig verhinderte. Doch dank der ständigen Weiterentwicklung der informationsverarbeitenden Fähigkeiten von Leittechnikplattformen können diese gehobenen Methoden nun genutzt werden.

Mit dieser Ausgabe startet die ABB Review eine Reihe von Artikeln, die sich mit elektrischen und mechanischen Schwingungen sowie den fortschrittlichen numerischen Methoden zu deren Beherrschung im gesamten elektromechanischen Energieversorgungssystem befassen. Behandelt werden die Bereiche Energieerzeugung, Verteilung, Nieder- und Mittelspannungsumwandlung sowie mechanische Verbraucher und Prozesse. Darüber hinaus gibt die Reihe einen aktuellen Einblick in die Forschungs- und Entwicklungsarbeit von ABB mit dem Ziel, eine zuverlässige Energieversorgung und Steigerung der Produktivität zu ermöglichen.

Der folgende Artikel wirft einen Blick auf Schwingungen in Mittelspannungs-Umrichtern. Weitere Artikel in kommenden Ausgaben der ABB Review werden sich mit anderen Teilen des elektromechanischen Energieversorgungssystems befassen.

#### **Alf Isaksson**

ABB Corporate Research  
Västerås, Schweden  
alf.isaksson@se.abb.com

#### **Silvia Mastellone**

ABB Corporate Research  
Dättwil, Schweiz  
silvia.mastellone@ch.abb.com

**V**orangetrieben durch technologische Fortschritte verzeichnen viele Bereiche der Technik einen enormen Anstieg der Komplexität. Das elektromechanische Energieversorgungssystem bildet da keine Ausnahme. Sobald ein System erfolgreich entwickelt ist, wird versucht, seine betrieblichen Grenzen zu erweitern, um die Leistungsfähigkeit zu steigern.

Die zunehmende Komplexität macht sich in diesem Zusammenhang auf zwei Arten bemerkbar: 1. durch das hohe Maß an Interkonnektivität der Komponenten und 2. durch den heterogenen Charakter der Komponenten und die unterschiedlichen Zeitskalen ihres Verhaltens. Hinzu kommen die Forderung nach einer schnelleren Dynamik sowie die Reduzierung der Größe und des Gewichts von Komponenten durch technische Fortschritte. Um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten, erfolgt der Entwurf der Hardware und der Steuerung normaler-

#### **Titelbild**

Schwingungen treten in jedem technischen System mit einer gewissen Komplexität auf. Die Aufgabe der Ingenieure ist es, ihr Verhalten zu verstehen und dafür zu sorgen, dass die Stabilität des Gesamtsystems sichergestellt ist. Das Bild zeigt die Golden Gate Bridge (USA).



# ZÄHMUNG DER LEISTUNG

ABB Review Reihe



# Schwingungen beherrschen

## Fortschrittliche aktive Dämpfungsmethoden für Mittelspannungsumrichter

PETER AL HOKAYEM, SILVIA MASTELLONE, TOBIAS GEYER, NIKOLAOS OIKONOMOU, CHRISTIAN STULZ – Eine besondere Herausforderung bei der Leistungsumwandlung im Mittelspannungsbereich ist die zunehmende Komplexität der Stromnetze und Lasten, zwischen denen Energie ausgetauscht wird. Das Auftreten von elektrischen Schwingungen macht die Sache noch komplizierter. Fortschrittliche Regelverfahren ermöglichen eine hochwertige Leistungsumwandlung und bieten intelligente Möglichkeiten zur Dämpfung eines resonanten Systemverhaltens.

---

### Titelbild

Wie können Regelungsverfahren dabei helfen, das Problem von resonantem Verhalten in Mittelspannungs-Umrichtern zu bewältigen?

Eine wesentliche Voraussetzung für eine aktive Dämpfung besteht darin, der Regelung Informationen zu den Strom- und Spannungssignalen im Bereich um die Resonanzfrequenz zur Verfügung zu stellen und es dem Regler zu ermöglichen, entsprechend zu reagieren.

**M**ittelspannungs-(MS-)Frequenzumrichter sind ein Kerngeschäft von ABB, das auf hoch entwickelter Leistungselektronik, elektromagnetischen Komponenten, Kühltechnologien und automatischer Steuerungstechnik basiert. Mit einem weltweiten Marktanteil von über 20 % gehört ABB zu den führenden Unternehmen auf dem globalen Markt für MS-Frequenzumrichter. MS-Frequenzumrichter sind in der Industrie allgegenwärtig, und ihr Einsatzspektrum reicht von Pumpen und Lüftern bis hin zu Kompressoren und Walzwerken.

Traditionell werden MS-Frequenzumrichter genutzt, um elektrische Maschinen, die eine mechanische Last antreiben, mit dem Stromnetz zu verbinden. Angesichts der Zunahme erneuerbarer Energiequellen und eines fortschrittlichen Übertragungsnetzbetriebs speisen MS-Umrichter immer häufiger Strom ins Netz ein. Dies gilt u. a. für verschiedene Arten der Solar- und Windstromerzeugung, das regenerative Bremsen von Schienenfahrzeugen, Schnittstellen zwischen Hochspannungs-Gleichstrom-(HGÜ-) und Drehstrom-Übertragungssystemen sowie für sogenannte FACTS (flexible Dreh-

strom-Übertragungssysteme). Bei diesen Anwendungen sorgen leistungselektronische Systeme dafür, dass sich die erzeugte Wellenform und ihr Frequenzgehalt für die Einspeisung eignen.

#### **MS-Frequenzumrichter**

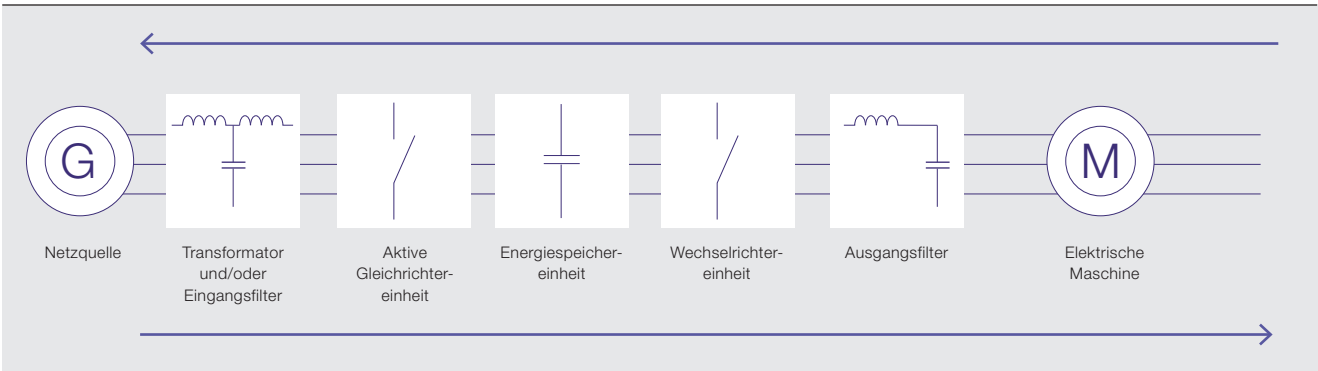
MS-Frequenzumrichter sind Stromrichter, deren Grundeigenschaften durch Leistungsfluss und Energiespeicherung bestimmt werden. Traditionell bezieht der Umrichter Leistung aus einer Drehstromquelle (z. B. dem Stromnetz), speichert diese als Energie in Form von Gleichspannung oder Gleichstrom mithilfe von Kondensatoren oder Drosselspulen und wandelt sie schließlich – durch sogenanntes Wechselrichten – wieder in Wechselstrom um, um einen Elektromotor anzutreiben → 1. Dieser Vorgang kann, z. B. bei der Nutzung von Windenergie, umgekehrt werden. Hier wandelt die Windturbine mechanische Bewegung in elektrische Energie um, die gleichgerichtet und als Gleichspannung/Gleichstrom gespeichert wird, bevor sie anschließend als Wechselstrom in das Netz eingespeist wird.

#### **Oberschwingungen**

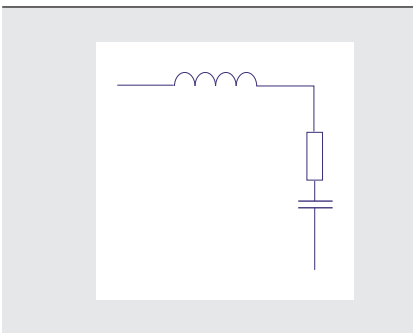
Die Umwandlungsprozesse der Gleichrichtung und Wechselrichtung sind mit speziellen Herausforderungen verbunden. Aufgrund der diskreten Schaltmöglichkeiten im Umrichter können die Ausgangsspannungen nur stufenförmig erzeugt werden. Dies führt zu Oberschwingungen in den elektrischen Größen, die sich durch das System ausbreiten und in das Netz bzw. die Maschine zurückgespeist werden.



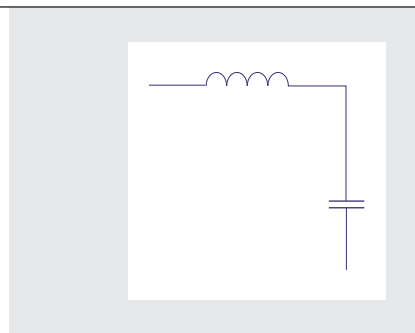
## 1 Aufbau eines MS-Antriebssystems. Die Pfeile zeigen den Leistungsfluss an.



## 2 Die zwei Hauptfilterarten



2a RLC-Filter



2b LC-Filter

Eine zweite, ebenso bedeutende Herausforderung ergibt sich aus der Unmöglichkeit, mit beliebig hoher Frequenz zwischen den verfügbaren Spannungspegeln zu schalten. Typische Schaltfrequenzen reichen von einigen Dutzend Hertz bis zu einigen Hundert Hertz. Dies liegt daran, dass sich die Schaltverluste des Umrichters, die einen Großteil der Gesamtverluste des elektrischen Antriebs ausmachen, proportional zur Schaltfrequenz verhalten.

Niedrigere Frequenzen senken die Betriebskosten und wirken sich günstig auf die Robustheit, Zuverlässigkeit und Effizienz des Gesamtsystems aus.

Regelungstechnisch stellt der beschränkte Schaltfrequenzbereich eine erhebliche Einschränkung dar.

Eine noch größere Einschränkung ist der relativ hohe Anteil an erzeugten Oberschwingungen niedriger Ordnung. Idealerweise ist die Spannung an den Ein- und Ausgängen des MS-Frequenzumrichters rein sinusförmig. Dies lässt sich jedoch kaum erreichen. Ein realistischeres Ziel ist die Minimierung der Oberschwingungen, die die Grund-

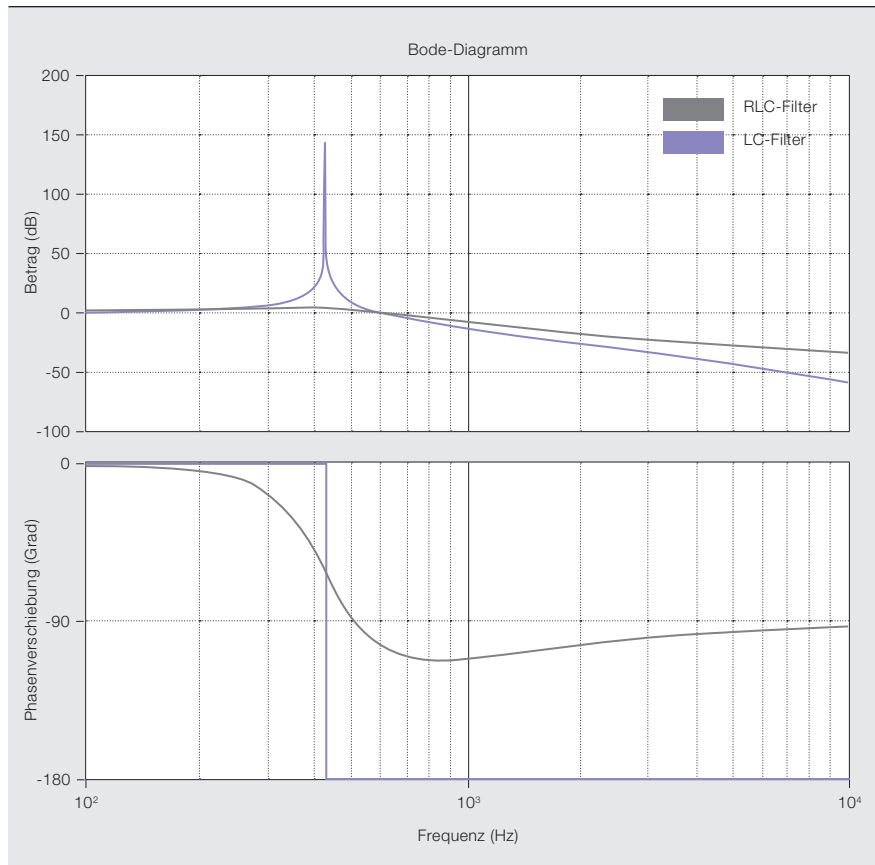
schwingung überlagern. Dies ist in sogenannten Netzanschlussnormen (Grid Codes) festgehalten, die Grenzwerte und Beschränkungen für die einzelnen Oberschwingungen definieren. Auf der Maschinenseite wird dies durch die harmonische Gesamtverzerrung (Total Harmonic Distortion, THD) des Stroms bestimmt. Der THD-Wert ist im Wesentlichen ein Maß für die Gesamtheit aller Oberschwingungen höherer Ordnung bezogen auf die Grundschwingungskomponente.

### Resonanzfilter

Hardwarefilter werden häufig am Eingang und/oder Ausgang von MS-Frequenzumrichtern installiert, um die Auswirkungen von Oberschwingungen auf das Netz und/oder die Maschine zu mildern. Dabei wird zwischen zwei Arten von Filtern unterschieden: Resonante Filter (LC-Filter) und passiv gedämpfte Filter (RLC-Filter) → 2. Passiv gedämpfte Filter sind im Hinblick auf die Stabilität interessant, da sie den niederfrequenten Anteil der Signale nicht verstärken und die höheren Oberschwingungen dämpfen → 3. Die ohmschen Elemente im Filter sind jedoch mit signifikanten Verlusten ver-

Angesichts der Zunahme erneuerbarer Energiequellen und eines fortschrittlichen Übertragungsnetzbetriebs speisen MS-Umrichter immer häufiger Strom ins Netz ein.

### 3 Frequenzgang eines LC-Filters und eines RLC-Filters



bunden, die den Wirkungsgrad des gesamten Umrichters reduzieren.

Regelungstechnisch stellen sich zwei Hauptfragen: Wie kann die Erzeugung von Oberschwingungen im Bereich um die Resonanzfrequenz des LC-Filters verhindert werden, und – wenn ein solcher Oberschwingungsanteil vorhanden ist – wie kann er gedämpft werden?

Die Antwort liefern sogenannte aktive Dämpfungsverfahren.

#### Aktive Dämpfungsverfahren

Aktive Dämpfungsmethoden sind intelligente Verfahren, die die unerwünschten elektrischen Schwingungen im System mildern. Diese Lösungen verursachen keinerlei zusätzliche Hardwarekosten beim Systementwurf, erfordern aber fundiertes Wissen über die zugrunde liegende Systemdynamik sowie entsprechende Fachkenntnisse in Regelungs-, Schätz- und Optimierungsmethoden.

Die diskreten Schalteigenschaften von Umrichtern führen zu Oberschwingungen unendlicher Ordnung, die häufig

auch als Schaltwelligkeit bezeichnet werden. Diese sind in allen Signalen (Spannung, Strom, Fluss, Drehmoment usw.) vorhanden und können sich direkt auf das Regelverhalten auswirken. Eine wesentliche Voraussetzung für eine aktive Dämpfung besteht darin, dem unterlagerten Regelverfahren Informationen zum Frequenzgehalt der Strom- und Spannungssignale im Bereich um die Resonanzfrequenz zur Verfügung zu stellen und es dem Regler zu ermöglichen, entsprechend zu reagieren. Dies erfordert einen sehr sorgfältigen Entwurf von Software-Filtern (Tiefpass, Bandpass, Bandsperre, usw.) und/oder fortschrittlichen Zustandsschätzern.

Es gibt – sowohl in der Forschung als auch in der Industrie – eine Vielzahl von Methoden für den Entwurf von Reglern zur Resonanzdämpfung.

#### Eingrößenmethoden

Die ersten Versuche zur Bewältigung von Schwingungen basierten hauptsächlich auf Frequenzbereichskonzepten und der Gestaltung des Systemverhaltens im geschlossenen Regel-

kreis. Dabei kamen hauptsächlich PID-Konzepte (Proportional-Integral-Differential) für Eingrößensysteme (Single-Input, Single-Output, SISO) zum Einsatz, die auf technischen Ergebnissen aus den 1930er, 1940er und 1950er Jahren basierten. Dieser Ansatz kann in Verbindung mit verfügbaren Regelungs- und Modulationsstrategien – z. B. der Pulsweitenmodulation (PWM) [1] und der direkten Drehmomentregelung (DTC) [2] – genutzt werden. Es gibt jedoch einige Vorbehalte: So ist das zugrunde liegende System weder vollständig SISO noch kontinuierlich, sondern weist äußerst komplexe dynamische Wechselwirkungen zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen auf.

#### Mehrgrößenmethoden

Mehrgrößenmethoden (Multiple-Input, Multiple-Output, MIMO) unter Verwendung der Zustandsraumdarstellung (auch als Zeitbereichsansatz bezeichnet) wurden in den 1960er Jahren entwickelt und stellen zusammen mit linear-quadratischen Reglerentwürfen (LQR) einen bedeutenden Fortschritt bei den aktiven Dämpfungsmethoden dar.

# Idealerweise ist die Spannung an den Ein- und Ausgängen des MS-Frequenzumrichters rein sinusförmig. Dies lässt sich jedoch kaum erreichen. Ein realistischeres Ziel ist die Minimierung der Oberschwingungen, die die Grundschwingung überlagern.

MIMO-Methoden erfassen die Dynamik des Systems in einem einzigen System von Differentialgleichungen erster Ordnung und nutzen diese Informationen, um das Systemverhalten über die zukünftigen Zeitpunkte hinweg vorherzusagen und damit optimale Regeleinriffe zu erlauben, die langfristig positive Auswirkungen auf die Dämpfung der unerwünschten Schwingungen haben. MIMO-Methoden ermöglichen eine präzisere Handhabung der komplexen Wechselwirkungen im System und ihrer Auswirkungen auf die Resonanzen als die vorangegangenen SISO-basierten Methoden. Ein MIMO-basierter Entwurf geht allerdings davon aus, dass alle Signale im System kontinuierlicher Natur sind, und ignoriert den bereits erwähnten Schalteffekt.

Der LQR-Ansatz, der die zur Dämpfung der unerwünschten Schwingungen notwendigen Veränderungen in den Sollsignalen generiert, wird in zwei verschiedenen Regelverfahren als äußerer Regelkreis eingesetzt: der modellprädiktiven Gleichstromregelung (MPDCC) für die Netzseite und der modellprädiktiven Pulsmusterregelung (MP<sup>3</sup>C) für die Maschinenseite [3].

## Fortschrittliche Zeit- und Frequenzbereichsmethoden

Trotz ihrer hervorragenden Wirksamkeit leiden MIMO- und LQR-basierte aktive Dämpfungskonzepte unter der Tatsache, dass sie lediglich die Sollsignale manipulieren, um eine Dämpfung der elektrischen Schwingungen zu erreichen. Fortschrittlichere Methoden zur Dämpfung von Schwingungen nutzen optimierte Pulsmuster (OPPs). Diese sind normalerweise so ausgelegt, dass der Oberschwingungsanteil

im Bereich der Resonanzfrequenz eliminiert wird. Doch Störungen oder leichte Verschiebungen in den Schaltzeitpunkten können zur Rückkehr dieses unerwünschten Oberschwingungsanteils führen, der durch die Resonanzüberhöhung der physischen Filter noch vergrößert wird. Daher ist es effektiver, jeden Schaltvorgang im System zu betrachten und seine Auswirkung auf die Dämpfung oder Erzeugung von Oberschwingungen bei der Resonanzfrequenz zu analysieren.

Diese analytischen Informationen über die harmonischen Folgen von Regeleinriffen sind von größtem Nutzen bei der folgenden Entscheidung: Soll die Umschaltung wie geplant erfolgen oder verschoben werden, um bei der Dämpfung der Resonanz zu helfen? Solche fortschrittlichen Methoden benötigen nur extrem niedrige Verhältnisse zwischen der Resonanzfrequenz des Hardwarefilters und der Schaltfrequenz. Damit können die Leistungsfähigkeit des Systems erhöht und die Größe der passiven Elemente im System – und folglich auch die Kosten – reduziert werden.

## Die Vision

Den Regelungsingenieuren bei ABB steht heute ein äußerst effektives und gut erforschtes Arsenal von Methoden zur Verfügung, um eine aktive Dämpfung elektrischer Resonanzen zu erreichen. Doch damit ist dieses Thema keinesfalls erschöpft. Durch das Vorhandensein von Resonanzkreisen sowohl beim Verbraucher als auch an der Quelle und den dazwischen liegenden Teilsystemen werden Systeme immer komplexer. Regelverfahren, die im letzten Jahrhundert entwickelt wurden, liefern die Lösung für das Prob-

lem der aktiven Dämpfung für einfache Umrichtersysteme, doch die Weiterentwicklung von Umrichtersystemen und die Erweiterung von Einzel- zu Mehrfachsystemen erfordert weitere Forschungsarbeit. Die Herausforderungen in zukünftigen Umrichtersystemen liegen in der Skalierbarkeit des Umfangs und der Komplexität sowie in praktischen Aspekten wie Kommunikationsverzögerungen zwischen den Subsystemen und Einschränkungen der Rechenleistung durch die Regeleshardwareplattformen.

Wenn es um die Dämpfung von Resonanzen geht, ist es möglicherweise viel effektiver, das Umrichtersystem als Ganzes zu betrachten und Regelverfahren zu entwickeln, die die gesamte Systemstruktur und nicht nur einzelne Teile nutzen. Dies führt zu einem optimierten Systemdesign, reduzierten Kosten und einer höheren Effizienz.

**Peter AL Hokayem**

**Silvia Mastellone**

**Tobias Geyer**

**Nikolaos Oikonomou**

ABB Corporate Research

Baden-Dättwil, Schweiz

peter.al.hokayem@ch.abb.com

silvia.mastellone@ch.abb.com

tobias.geyer@ch.abb.com

nikolaos.oikonomou@ch.abb.com

**Christian Stulz**

ABB Medium Voltage Drives

Turgi, Schweiz

christian.stulz@ch.abb.com

## Literaturhinweise

- [1] J. Dannehl et al.: „Investigation of active damping approaches for PI-based current control of grid-connected pulse width modulation converters with LCL filters“. IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 46(4), S. 1509–1517. Jul./Aug. 2010
- [2] P. Pahjolainen, C. Stulz: „Method and apparatus for direct torque control of a three-phase machine“. U.S. Patent 5734249. 31. März 1998
- [3] P. Hokayem et al.: „Active damping for model predictive pulse pattern control“. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), S 1220–1227. 14.–18. September 2014, Pittsburgh, USA





# 300.000-Dollar- Forschungspreis

ABB ruft einen Preis ins Leben, um herausragende Forschungen von Postdoktoranden zu ehren und zu unterstützen

REINER SCHÖNROCK – ABB hat einen internationalen Forschungspreis zu Ehren von Hubertus von Grünberg ins Leben gerufen, der im April 2015 aus seinem Amt als Verwaltungsratspräsident von ABB ausgeschieden ist. Der „ABB Research Award in Honor of Hubertus von Grünberg“ soll eine erstklassige Forschung in der Energie- und Automatisierungstechnik, den Hauptgeschäftsfeldern

von ABB, fördern. Wichtige Anwendungsbereiche sind die Versorgungswirtschaft, die Industrie sowie der Transport- und Infrastruktursektor. Mit dem Preis sollen herausragende Forschungen von Postdoktoranden gewürdigt werden, die durch kreative Nutzung von Software, Elektronik und/oder neuen Werkstoffen den Weg zu bahnbrechenden Industrielösungen ebnen.



Von Grünberg studierte theoretische Physik und promovierte 1970 mit einer Dissertation über die Relativitätstheorie von Albert Einstein. Er hat maßgeblich dazu beigetragen, ABB auf nachhaltiges Wachstum auszurichten und den Ruf des Unternehmens als technischer Pionier und Vorreiter zu festigen. Während seiner Amtszeit als Verwaltungsratspräsident von 2007 bis 2015 erzielte ABB einige bahnbrechende technologische Entwicklungen wie den hybriden Leistungsschalter für die Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ), mit dem ein 100 Jahre altes Problem der Elektrotechnik gelöst und eine bedeuten-

de Hürde auf dem Weg zu einem leicht steuerbaren Gleichstromnetz ausgeräumt wurde → 1.

ABB hat den Forschungspreis in seinem Namen ins Leben gerufen, um besonders vielversprechenden jungen Wissenschaftlern Motivation und Anregung für ihre Arbeit zu geben. Innovation ist eine wichtige Säule der „Next-Level“-Strategie von ABB. In einem agilen Umfeld globaler und offener Innovation muss ABB auch über den Tellerrand hinaus – außerhalb des Unternehmens – schauen, um wegweisende Innovationen voranzutreiben.

Der Preis umfasst eine Forschungsförderung von 300.000 US-Dollar und steht Postdoktoranden aller Universitäten offen, die sich auf die Forschung im Bereich der Energie- und Automatisierungstechnik spezialisiert haben. Der Preis wird erstmals 2016 und anschließend im Turnus von drei Jahren verliehen.

In der Jury für den Preis sitzen Professoren der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich, des Massachusetts Institute of Technology (MIT), der Tsinghua Universität in Peking, des Imperial College London sowie Hubertus von Grünberg und der ABB-Technologiechef Claes Ryttoft.

Weitere Informationen über den ABB-Forschungspreis zu Ehren von Hubertus von Grünberg einschließlich der Teilnahmebedingungen finden Sie auf einer gesonderten Website unter <http://new.abb.com/hvg-award>.

Die Bewerbungsfrist für den ersten Preis endet am 29. Januar 2016.

**Reiner Schönrock**

ABB Corporate Communications  
Zürich, Schweiz  
[reiner.schoenrock@ch.abb.com](mailto:reiner.schoenrock@ch.abb.com)

**Titelbild**

Der ABB Research Award in Honor of Hubertus von Grünberg wird erstmalig im Jahr 2016 und danach alle drei Jahre vergeben.



# Ihre Meinung zählt. Sagen Sie uns, was Sie denken!

Der Eindruck und die Zufriedenheit unserer Leser spielen eine wichtige Rolle für die zukünftige Ausrichtung der ABB Review. Daher laden wir Sie ein, an einer kurzen Online-Umfrage (nur 10 Fragen) teilzunehmen. Alle Teilnehmer nehmen an einer Verlosung teil. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Die Umfrage finden Sie unter [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview). Sie endet am 30. November 2015.



## Editorial Board

### Claes Ryttoft

Chief Technology Officer  
Group R&D and Technology

### Ron Popper

Head of Corporate Responsibility

### Christoph Sieder

Head of Corporate Communications

### Ernst Scholtz

R&D Strategy Manager  
Group R&D and Technology

### Andreas Moglestue

Chief Editor, ABB Review  
andreas.moglestue@ch.abb.com

### Herausgeber

Die ABB Review wird herausgegeben von  
ABB Group R&D and Technology.

ABB Technology Ltd.  
ABB Review  
Affolternstrasse 44  
CH-8050 Zürich  
Schweiz  
abb.review@ch.abb.com

Die ABB Review erscheint viermal pro Jahr in Englisch, Französisch, Deutsch und Spanisch. Die ABB Review wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind. Wenn Sie an einem kostenlosen Abonnement interessiert sind, wenden Sie sich bitte an die nächste ABB-Vertretung, oder bestellen Sie die Zeitschrift online unter [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview).

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

Herausgeber und Copyright © 2015  
ABB Technology Ltd.  
Zürich, Schweiz

### Satz und Druck

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH  
AT-6850 Dornbirn, Österreich

### Layout

DAVILLA AG  
Zürich, Schweiz

### Übersetzung

Thore Speck, Dipl.-Technikübersetzer (FH)  
D-24941 Flensburg, Deutschland

### Haftungsausschluss

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

ISSN: 1013-3119

[www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)



Vorschau 4115

# Integration erneuerbarer Energien

Nach Heft 2/2015 zum Thema Solarenergie befasst sich die ABB Review in der nächsten Ausgabe erneut mit dem Thema erneuerbare Energien, diesmal aus einer breiteren Perspektive.

Dabei geht es nicht nur um die Energie selbst, sondern auch darum, welche Auswirkungen sie auf das Stromnetz, die Industrie und die Nutzer hat und wie Technologie von ABB all diesen Systemen dabei helfen kann, den stetig wachsenden Anteil an erneuerbaren Energien an der weltweiten Energieversorgung bestmöglich zu nutzen.

## ABB Review auf dem Tablet

Die ABB Review ist auch als Tablet-Version verfügbar. Gehen Sie auf <http://new.abb.com/about/technology/abb-review/app> oder scannen Sie den entsprechenden QR-Code für Ihre Plattform.



## Bleiben Sie auf dem Laufenden ...

Haben Sie eine Ausgabe der ABB Review verpasst? Melden Sie sich unter <http://www.abb.com/abbreview> für unseren E-Mail-Benachrichtigungsservice an und verpassen Sie nie wieder ein Heft.



Nach der Anmeldung erhalten Sie per E-Mail einen Bestätigungslink. Sie müssen Ihre Anmeldung bestätigen, um Benachrichtigungen zu neuen Ausgaben zu erhalten.



Stets zur Hand.  
Wann Sie wollen,  
wo Sie wollen.

Kennen Sie unsere neue ABB Review App mit zahlreichen praktischen Funktionen? Sofort verfügbar in vier Sprachen bietet sie interaktive Funktionalitäten für Tablets und Smartphones wie vollständig durchsuchbare Inhalte, eingebundene Bildergalerien, Filme und Animationen. Erhältlich im App-Store Ihres Vertrauens.

<http://www.abb.com/abbreview>

