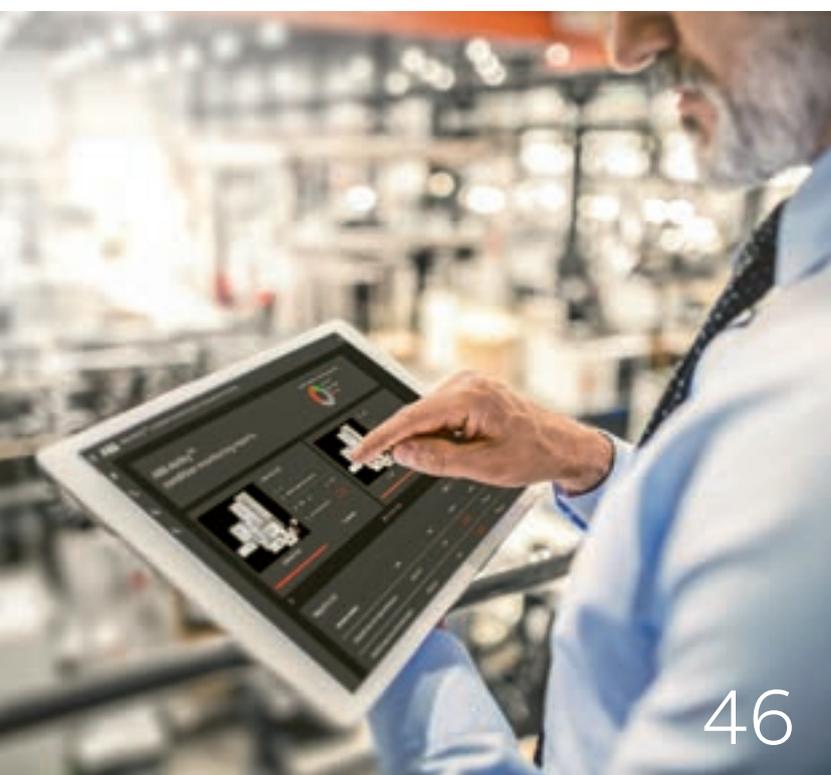


review

02|2021 de

Maschinen mit Intelligenz



46

-
- 06–37 **Maschinen mit Intelligenz**
 - 38–49 **Sensoren und Analytik**
 - 50–81 **Elektrische Energie**



52



Digitaler Leistungsschalter Tmax XT

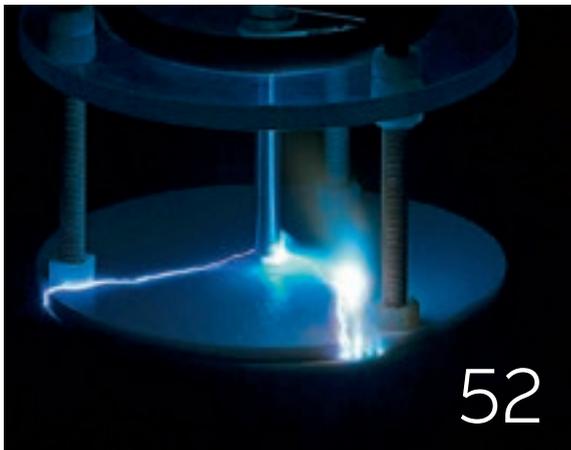
Blaskolben-Lasttrennschalter





31

Golden-Batch-Analysen



52

Virtuelles Hochspannungslabor

05 Editorial

Maschinen mit Intelligenz

- 08 Das Digital Lighthouse Program
- 14 Autonome Anomalieerkennung
- 18 Maschinen und Roboter
- 22 Lösungen aus einer Hand
- 24 Erklärbare künstliche Intelligenz
- 31 Golden-Batch-Analysen
- 36 Technologie für Menschen

Sensoren und Analytik

- 40 Sensoren liefern tiefe Einblicke
- 46 Digitale Services für Gasanalytoren

Elektrische Energie

- 52 Virtuelles Hochspannungslabor
- 58 Ladetechnik für E-Fahrzeuge
- 62 Digitaler Leistungsschalter Tmax XT
- 68 ReliaGear® neXT und ReliaGear® SB
- 72 Blaskolben-Lasttrennschalter
- 78 Rogowski-Sensoren

Buzzwords entschlüsselt

- 82 Smart Materials
-
- 83 Abonnement
 - 83 Impressum

Maschinen mit Intelligenz

Intelligente Maschinen sind wie intelligente Menschen: Sie wissen nicht alles, aber sie sind lernfähig und nutzen Erkenntnisse, statt nur Antworten zu liefern. Maschinen sind nicht von Natur aus intelligent, können aber verstehen und sich anpassen. Diese Ausgabe der ABB Review zeigt, wie die Zusammenarbeit von intelligenten Menschen und intelligenten Maschinen Produktions- und Geschäftsprozesse verändern kann.

EDITORIAL

Maschinen mit Intelligenz



Liebe Leserin, lieber Leser,

normalerweise gibt es eine Diskrepanz zwischen dem wissenschaftlich Möglichen und dem praktisch Machbaren. Es ist die Aufgabe von Ingenieuren, diese Lücke zu verkleinern und die Früchte der Forschung in konkrete Produkte umzusetzen, die Menschen und Unternehmen nützen und dabei die Umwelt schonen.

Ein Hauptthema dieser Ausgabe der ABB Review ist die Anwendung der stetig wachsenden Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz (KI) auf industrielle Prozesse. KI verbessert nicht nur die Erfassung, Verknüpfung und den Austausch von Informationen, sondern bietet auch die Möglichkeit, ganze Produktionsprozesse effizienter, produktiver und nachhaltiger zu gestalten.

Können wir der KI vertrauen? Wie können wir den Lernprozess von KI-Systemen verbessern? Und wie können wir KI nutzen, um bestehende Systeme zu optimieren und bessere zu entwickeln? Dies sind nur einige der Fragen, mit denen wir uns befassen.

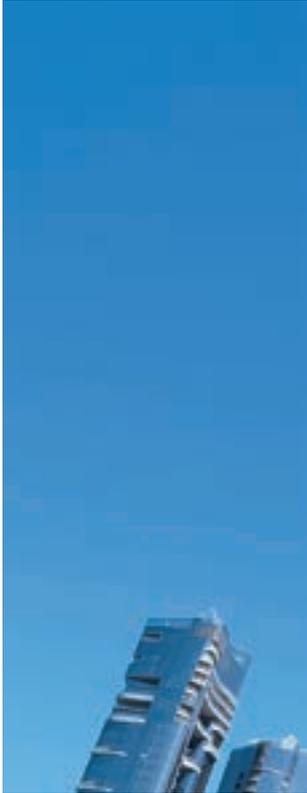
Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

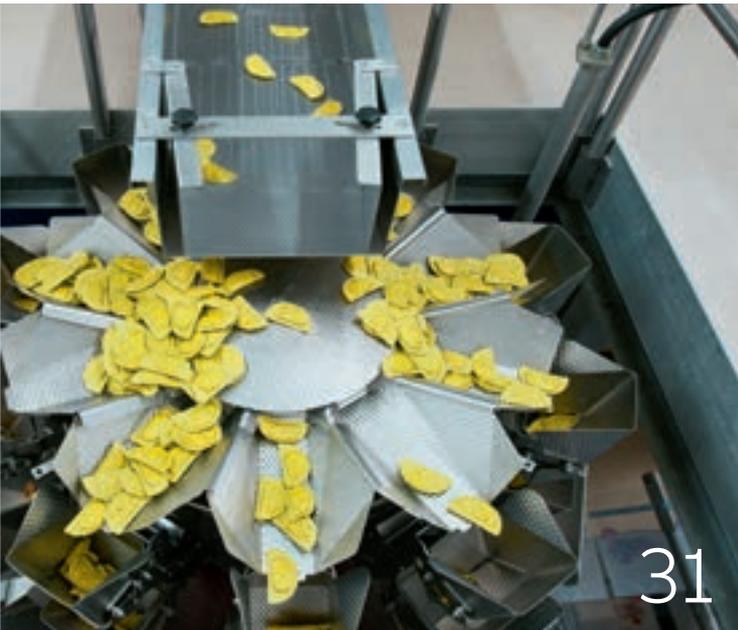
A handwritten signature in black ink, consisting of stylized initials 'BR' followed by a horizontal line.

Björn Rosengren
Chief Executive Officer, ABB Group



Maschinen mit Intelligenz





Maschinen müssen unter anderem zuverlässig, vertrauenswürdig, kommunikativ und lernfähig sein, bevor man sie als intelligent bezeichnen kann. ABB unterstützt federführend die Entwicklung solcher Maschinen und sorgt dafür, dass sie erfolgreich mit Kunden zusammenarbeiten.

- 08 Das Digital Lighthouse Program: Initiator für Transformation
- 14 Eine Formel zur schnelleren autonomen Anomalieerkennung
- 18 Integration von Maschinen und Robotern
- 22 Maschinenautomation und Robotik aus einer Hand
- 24 Erklärbare künstliche Intelligenz: der Schlüssel zum Vertrauen in Maschinen
- 31 Golden-Batch-Analysen sichern höchste Qualität
- 36 Technologie für Menschen



MASCHINEN MIT INTELLIGENZ

Das Digital Lighthouse Program: Initiator für Transformation

Im Jahr 2017 startete ABB das Digital Lighthouse Program. Im Rahmen dieser Initiative wurden Vorschläge für innovative digitale Lösungen aus dem Konzern ausgewählt und deren Entwicklung in Zusammenarbeit mit Kunden teilweise finanziert. Bis heute hat das Programm zur Kommerzialisierung von 30 neuen Produkten geführt.

—
01 Das Digital Lighthouse Program beschleunigt die Einführung innovativer digitaler Lösungen auf dem Markt.

In einem 130 Jahre alten, globalen Konzern, der verschiedene Branchen bedient, ist digitale Innovation nicht immer einfach. Dennoch ist Innovation für Unternehmen, die im Zeitalter der Digitalisierung vorne mitspielen wollen, von entscheidender Bedeutung. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die Fähigkeit, neue Ideen auszuprobieren, aus den Ergebnissen zu lernen und vielversprechende Ansätze weiterzuentwickeln.

Im Jahr 2017 entschloss sich ABB dazu, die digitale Innovation innerhalb des Unternehmens zu katalysieren, und startete das Digital Lighthouse Program. Die Idee des Programms bestand darin, gute interne Ideen mit der notwendigen Finanzierung, den erforderlichen Ressourcen und der Einbindung von Kunden zusammenzuführen, um die Zeit bis zur Produkteinführung zu verkürzen →01. Im Rahmen des Programms wurden innovative digitale Lösungen ausgewählt und in Zusammenarbeit mit Kunden entwickelt. Die Finanzierung erfolgte zum Teil ebenfalls durch das Programm.



Franziska Bossart
ABB Technology Ventures
Menlo Park, CA, USA

franziska.bossart@
us.abb.com



Zweieinhalb Jahre später, zum Ende des Programms, waren 66 sogenannte Minimum Viable Products (MVPs) mit Kunden realisiert und über 40 Testimonials von Kunden publiziert. Ein MVP ist ein im Rahmen eines agilen Entwicklungsverfahrens entwickeltes, voll funktionsfähiges Produkt, das über die für den geforderten Zweck notwendigen Mindestfunktionen verfügt. Bis heute wurden 30 im Rahmen des Programms entwickelte Produkte kommerzialisiert. Der

—
Das Programm bot die Möglichkeit, gute Ideen in einem unternehmerischen Rahmen voranzutreiben.

wichtigste Aspekt des Programms ist jedoch die Förderung einer digitalen Innovationskultur innerhalb von ABB, was bedeutet, dass in Zukunft deutlich weniger innovative Ideen ungenutzt in den Schubladen herumliegen werden.

Digitale Transformation

Digitale Innovation und Transformation sind von entscheidender Bedeutung für das Wachstum von ABB und ihre Fähigkeit, Kunden eine höhere Wertschöpfung zu bieten und gleichzeitig ihre Produkte gegen einen zunehmenden Preisdruck

zu sichern. Wenn es ABB gelingt, ihr Portfolio von integrierten Lösungen stetig auszubauen und zu digitalisieren, um die Bedürfnisse und Erwartungen ihrer umfangreichen und loyalen Kundschaft zu erfüllen, wird sich das Unternehmen auch weiterhin erfolgreich behaupten.

Doch digitale Transformation ist leichter gesagt als getan. Es gibt zwei Hauptgründe, warum die digitale Transformation in großen Unternehmen schwierig ist: Erstens geben viele traditionelle Unternehmen einen Großteil ihres F&E-Budgets für inkrementelle Produktverbesserungen aus, die ihren Marktanteil auf wohldefinierten Märkten langsam aber stetig vergrößern. Bei digitalen Innovationsprogrammen hingegen dreht sich alles um die Zukunft. Hier arbeiten F&E-Ressourcen an neuartigen Produkten oder für Märkte, die gerade entstehen oder noch nicht existieren → 02, Dies erfordert Agilität, eine schnelle Entwicklung bis zur Marktreife und Risikobereitschaft. Einige Projekte werden scheitern, aber diejenigen, die erfolgreich sind, können richtungsweisend sein.

Zweitens lässt sich der Erfolg digitaler Innovation nicht einfach am Datum der Markteinführung messen. Digitale Produkte müssen von den Marketing- und Produktmanagement-Teams wie aufkeimende Geschäfte behandelt und durch umfangreiche Versuche aufgezogen werden. Modelle, die das größte Potenzial versprechen, sollten rasch skaliert, alle anderen schnell aufgegeben werden.



02 Während häufig ein Großteil des F&E-Aufwands in die Verbesserung vorhandener Produkte für wohldefinierte Märkte fließt, dreht sich bei digitalen Innovationsprogrammen alles um die Zukunft.

03 Ein Ergebnis des Programms war ein intelligentes Konzept für die Schifffahrt.



03

Die frühzeitige Zusammenarbeit mit Kunden war ein populärer Aspekt des Programms.

Das Programm als Initiator

Das Lighthouse Program begann im April 2017 und lief bis Ende 2019. Die Hauptziele des Programms waren:

- Beschleunigung der Entwicklung und Implementierung innovativer digitaler Lösungen auf Basis der ABB Ability™-Plattform für das industrielle Internet der Dinge (IIoT)
- Förderung der gemeinsamen Entwicklung von Lösungen mit Kunden durch deren frühzeitige Einbindung
- Schnellere Anwendung innovativer digitaler Technologien wie künstliche Intelligenz (KI), erweiterte und virtuelle Realität, digitale Zwillinge und Blockchain bei ABB

Im Verlauf des Programms wurden alle sechs Monate etwa 12 digitale Innovationsprojekte ausgewählt, finanziert und gestartet. Die beiden Hauptkriterien für die Projektwahl waren:

- Jedes anerkannte Projekt sollte ein riskantes und innovatives Profil aufweisen, das ohne das Lighthouse Program nicht finanziert würde.
- Die betreffende ABB-Einheit sollte breit sein, Ressourcen beizusteuern.

Jedes Projekt wurde jeweils zur Hälfte vom Programm und von der vorschlagenden ABB-Einheit finanziert. Ein unerwarteter Nebeneffekt dieses Co-Finanzierungsmodells war, dass es einige Einheiten mit ähnlichen Projektvorschlägen dazu veranlasste, ihre Projekte zu kombinieren und so die Ressourcen zu bündeln. Dieser Ansatz

war nicht nur effizienter, sondern bot Kunden auch den Zugang zu Anwendungen, die mit einer größeren Anzahl von ABB-Produkten arbeiten.

Das Lighthouse Program bot Mitarbeitern mit guten Ideen die Möglichkeit, sich in einem unternehmerischen Rahmen für diese Ideen einzusetzen und sie voranzutreiben. Bewerber hatten die Aufgabe, Kunden ausfindig zu machen, die bereit waren, an der Entwicklung neuer digitaler Produkte mitzuwirken. Außerdem mussten sie erläutern, welche Kundenprobleme das Produkt behandeln würde, welche Hindernisse einem Erfolg gegenüberstehen und wie diese mithilfe des Programms überwunden werden können. Darüber hinaus galt es, das unmittelbare und langfristige Ertragspotenzial aufzuzeigen.

Eine digitale Lösung galt als erfolgreich, wenn sie am Schluss folgende Anforderungen erfüllte:

- Realisierung eines MVP mit einem Kunden innerhalb von neun Monaten nach Projektstart
- Veröffentlichung eines Kunden-Testimonials innerhalb von zwei Monaten nach der Realisierung

Ersteres führte zu einer drastischen Verkürzung der von den F&E-Teams gewohnten Entwicklungszeit. Die Tatsache, dass statt der üblichen technisch nahezu perfekten Lösung „nur“ ein MVP entwickelt werden musste, wirkte wie ein Beschleuniger. Ein Teilnehmer berichtet: „Das Lighthouse Program hat das Konzept der Customer Co-Creation eingeführt. In der Vergangenheit hat ABB eher Produkte entwickelt und diese dann Kunden angeboten. Im Rahmen des Programms haben ABB und Kunden von Anfang an der Entwicklung von Lösungen zusammengearbeitet, die sich direkt an Kundenprobleme richten.“



Projektvorschläge wurden besonders berücksichtigt, wenn sie:

- zu einer Zusammenarbeit zwischen Geschäftseinheiten führten, die nachhaltige Vorteile durch Vernetzung und den Austausch von Best Practices bot,
- sich in die ABB Ability™-Plattform für das industrielle Internet der Dinge (IIoT) einfügten und diese erweiterten,
- zur Integration und Entwicklung neuer digitaler Technologien wie AI, maschinelles Lernen und digitale Zwillinge beitrugen.

—
Insgesamt gab es 170 Projektvorschläge, von denen 73 gefördert wurden.

Jedes geförderte Projekt wurde im Rahmen eines vom Programmteam organisierten virtuellen Kick-off-Meetings offiziell gestartet, um sicherzustellen, dass die Projektteams bereit waren, mit der Arbeit zu beginnen. Dabei stellte sich bald heraus, dass ein erzwungener verfrühter Start schnell zu Verzögerungen, nachlassender Dynamik und Frustration führte. Letztendlich hat sich eine Vorbereitungszeit von zwei Monaten zwischen Annahme des Vorschlags und dem Projektstart als praktikabel erwiesen, um eine ausreichende personelle Ausstattung und Zuordnung von Ressourcen zu gewährleisten. Bei vielen Projekten waren die beteiligten Teams über mehrere Kontinente und Zeitzonen verteilt.

Alle zwei Monate wurde der Fortschritt der einzelnen Teams von den Programmverantwortlichen überprüft. Dies ermöglichte unter anderem den Austausch von Best Practices über das gesamte Projektportfolio hinweg. Alle zwei Wochen mussten die Teams ihre bisherigen Ergebnisse und nächsten Ziele in einem „Sprint Report“ zusammenfassen, der in einem Portfolio-Dashboard zum Lighthouse Program erfasst und einem weiten Adressatenkreis zugänglich gemacht wurde.

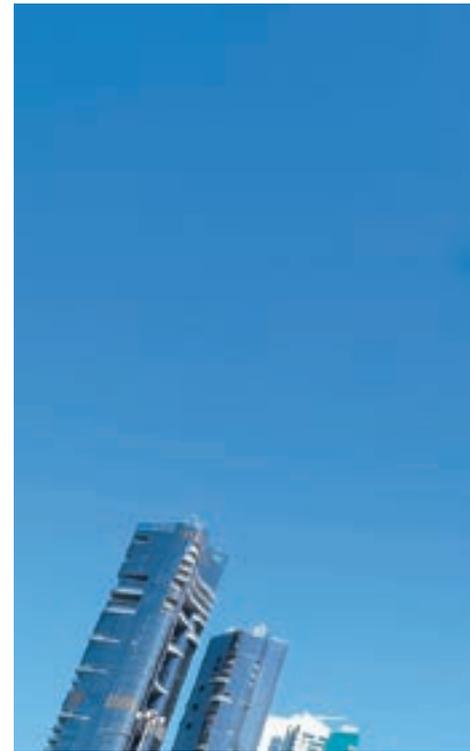
Interessanterweise entwickelte sich die frühzeitige Zusammenarbeit mit Kunden zu einem der populärsten Aspekte des Programms. Anfänglich

interessierten sich viele Entwicklungsteams vornehmlich aufgrund der Finanzierung für das Programm. Doch schon bald wussten sie die Zusammenarbeit mit Kunden zu einem frühen Zeitpunkt des Produktentwicklungszyklus gleichermaßen zu schätzen, da dies zu gezielteren Produkten führte und die Entwicklungszeit bis zur Marktreife verkürzte.

Ergebnisse des Digital Lighthouse Program

Insgesamt reichten ABB-Mitarbeiter 170 Projektvorschläge für das Programm ein, von denen 73 gefördert wurden. Alle 19 Geschäftsbereiche von ABB waren vertreten – ein bemerkenswertes Ergebnis.

Im Rahmen der geförderten Projekte wurden 66 MVPs in Zusammenarbeit mit Kunden entwickelt und realisiert. Zu 40 davon wurden Testimonials von Kunden veröffentlicht. Über 60 % der Projekte beinhalteten neue Geschäftsmodelle wie eine abonnementbasierte Preisgestaltung. Zwei Projekte waren die ersten Angebote auf dem ABB Ability™ Online-Marktplatz für cloudbasierte digitale Lösungen. An 17 Projekten waren mehrere ABB-Einheiten beteiligt, und 19 nutzten neue digitale Technologien. Bis heute wurden 30 MVPs weiter produktisiert und vollständig für den Verkauf an Kunden freigegeben.





—
04 Das zusammen mit dem Kunden ULC Robotics entwickelte ABB Ability™ Mobile Gas Leak Detection System nutzt Drohnen, um Pipelines auf Leckagen zu überprüfen.

Zwei erfolgreiche Beispiele

Ein im Rahmen des Lighthouse Program entwickeltes intelligentes Konzept für die Schifffahrt umfasst zwei intelligente Fernsteuerungslösungen für Passagierfähren, die Lidar, Radar, GPS und eine Cloudanbindung nutzen und praktisch in jedem Schiff installiert werden können →03. Die Software sagt voraus, wo sich die Fähre in 30 s befinden wird, und zeigt die optimalen Manöver in einer Überlagerung mit den aktuellen Umgebungsbedingungen an, sodass das Schiff von Land aus ferngesteuert werden kann. Die Lösung ermöglicht eine vollständig automatisierte „Sense-Analyze-Act“-Schleife (Erkennen-Analysieren-Handeln), was einen bedeutenden Schritt in Richtung eines autonomen Betriebs darstellt, bei dem der Mensch bei Bedarf aus der Ferne eingreifen kann. Als Kunde an der Entwicklung beteiligt war der finnische Fährbetreiber Suomenlinnan Liikenne Oy in Zusammenarbeit mit den Verkehrsbetrieben der Stadt Helsinki (HKL) und der finnischen Behörde für Verkehrssicherheit (TRAFI).

Die Erkennung von schädlichen Methan-, Ethan- und anderen Gasleckagen an Pipelines ist aufwändig und teuer, da die Rohrleitungen häufig durch schwer erreichbares oder unwirtliches Gelände verlaufen. Das ABB Ability™ Mobile Gas Leak Detection System wurde in Zusammenarbeit mit dem Kunden ULC Robotics entwickelt

und erkennt Leckagen mit einer 1.000-fach höheren Empfindlichkeit als traditionelle Methoden, wobei die Pipelines mit schnellen Drohnen abgeflogen werden →04. Das schützt nicht nur die Umwelt, Infrastruktur und menschliches Personal, sondern sichert auch die Profitabilität des Pipeline-Eigentümers. Eine Cloudanbindung ermöglicht eine sichere, schnelle und effiziente Verteilung der Daten weltweit. Autorisierte Nutzer können den Verlauf der Drohnenflüge in Echtzeit verfolgen, Leckageberichte prüfen und entsprechend handeln.

Wegweiser in die Zukunft

War das Lighthouse Program ein Erfolg? Michael Wade, Professor für Innovation und Strategie am IMD Lausanne und Leiter des Global Center for Digital Business Transformation hat das Lighthouse Program aufmerksam verfolgt. Seine Einschätzung: „Das Lighthouse Program ist wie ein frischer Wind für ABB in einer Branche, in der Dinge normalerweise im Laufe von Jahren, nicht von Monaten und erst recht nicht von Wochen passieren. Die digitale Transformation ist hart, und die traurige Wahrheit ist, dass die meisten Bemühungen in dieser Richtung heute fehlschlagen. Damit ist die Realisierung von 66 MVPs innerhalb von zwei Jahren und vor allem die Kommerzialisierung von 30 Produkten bis heute eine seltene und vielversprechende Leistung.“

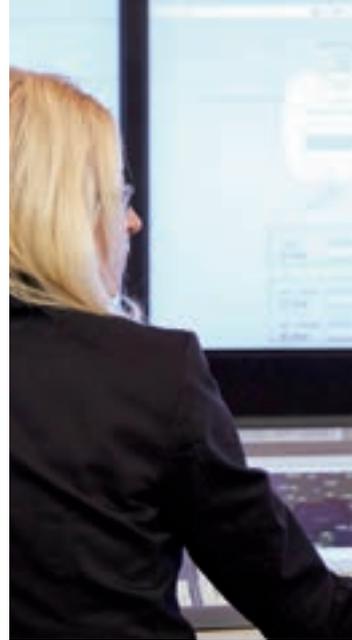
Das Lighthouse Program war in mehrerer Hinsicht ein Erfolg: Es war ein Initiator für die digitale Transformation, lieferte eine Arbeitsvorlage für die frühzeitige Co-Innovation mit Kunden und hat gezeigt, dass ABB bereit ist, Kunden bei deren digitaler Transformation zu unterstützen.

—
Das Programm hat Teams aus verschiedenen Bereichen dazu ermutigt, ihre Kräfte zu bündeln.

Echte Kollaboration in großen Unternehmen zu ermöglichen, ist eine Herausforderung. Das Lighthouse Program hat Teams aus verschiedenen Bereichen des ABB-Konzerns dazu ermutigt, ihre Kräfte auf eine neue, wirksame Weise zu bündeln. Mittlerweile entwickeln oder betreiben alle ABB-Geschäftseinheiten eigene, ähnliche Programme, Acceleratoren oder Inkubatoren. Vor allem aber fördert das ABB-Management diese Bemühungen aktiv, um die digitale Transformation langfristig und im großen Maßstab voranzutreiben. •

 MASCHINEN MIT INTELLIGENZ

Eine Formel zur schnelleren autonomen Anomalieerkennung



Maschinelles Lernen gewinnt in der Prozessindustrie zunehmend an Bedeutung, wenn es darum geht, Anomalien zu erkennen und die Autonomie bei der Qualitätskontrolle zu erhöhen [1,2]. Doch das Training solcher Systeme stellt aufgrund mangelder Beispiele aus der Praxis häufig eine Herausforderung dar.

—
Marcel Dix
Benjamin Kloepper
 ABB Corporate Research
 Ladenburg, Deutschland

marcel.dix@de.abb.com
 benjamin.kloepper@de.abb.com

Jean-Christophe Blanchon
 Corys
 Grenoble, Frankreich

Elise Thorud
 ABB Energy Industries
 Oslo, Norwegen
 elise.thorud@no.abb.com

Um dieser Herausforderung zu begegnen, haben ABB und Corys zwei Simulationsverfahren kombiniert und eine Umgebung entwickelt, die in der Lage ist, Daten zu erzeugen, die denen von Prozessen in realen Industrieanlagen erstaunlich ähnlich sind. Dieses neue Maß an Simulationsgenauigkeit öffnet neue Möglichkeiten für eine maßgeschneiderte, gezielte und beschleunigte Anomalieerkennung.

Industrieanlagen müssen so reibungslos wie möglich funktionieren. Um dies sicherzustellen, müssen Anzeichen für mögliche Probleme wie ungewöhnliche Vibrationen, Temperaturen, Drücke und Geräusche frühzeitig erkannt, identifiziert, analysiert und behandelt werden. Hier kann die Anomalieerkennung als wichtige Form des maschinellen Lernens eine bedeutende Rolle übernehmen, indem sie Anlagenfahrer bei der Überwachung des Funktionszustands der Anlagensysteme wirksam unterstützt.

Maschinelle Lernmodelle werden üblicherweise mithilfe historischer Anlagendaten trainiert. Doch da industrielle Systeme sehr robust sind, gibt es häufig nicht genügend Beispiele für echte Fehlerfälle in den Daten, um zuverlässige Modelle zu trainieren. Und selbst wenn es zu Fehlern kam, sind diese in den Daten häufig schwer zu finden, da sie vom Anlagenfahrer nicht entsprechend

gekennzeichnet wurden oder unbemerkt blieben. Dies kann außerdem dazu führen, dass anormale Situationen fälschlicherweise als normal identifiziert werden.

Forschungsinfrastruktur für maschinelles Lernen

Um diese Problematik zu lösen, nutzen Datenwissenschaftler realitätsnahe Prozesssimulatoren wie den Indiss Plus Simulator von Corys, um maschinelle Lernmodelle im Hinblick auf normale und anormale Anlagensituationen – wie z. B. Ventilfehler – zu trainieren und so eine korrekte Kennzeichnung solcher Ereignisse zu gewährleisten.

Die kombinierten Simulationssysteme liefern Daten, die denen von realen Industrieanlagen erstaunlich ähnlich sind.

Corys und ABB haben zusammen eine Infrastruktur für das maschinelle Lernen entwickelt, um das Potenzial – und die Datenanforderungen – verschiedener Algorithmen in einer realistischen Anordnung zu untersuchen. Die Infrastruktur von Corys und ABB ist in →01 dargestellt. Das Herzstück bilden die Simulationswerkzeuge der beiden Unternehmen: die Prozesssimulation Indiss Plus von Corys und der Leitsystemsimulator 800xA Simulator von ABB [3]. Beide Tools haben ihre Genauigkeit bereits in verschiedenen Projekten zur Bedienschulung unter Beweis gestellt. Miteinander kombiniert sind sie in der



entwickelt →01. Dieser wird mit einem Ablaufplan für das Experiment „gefüttert“, der beschreibt, wann verschiedene Bedieneingriffe wie Sollwertänderungen durchgeführt werden sollen und wann Fehler in der Indiss Plus Prozesssimulation initiiert werden sollen. Der Experiment Controller

Das Modell zur Anomalieerkennung ist in der Lage, simulierte Gerätefehler zu erkennen.

Lage, das Verhalten eines Prozesses und des dazugehörigen Automatisierungssystems – z. B. die Steuerlogik einer realen Anlage einschließlich Alarmen und Sicherheitslogik – zu simulieren.

Ein bedeutender Vorteil von Indiss Plus in dieser Anordnung ist, dass auch verschiedene Fehler in der Anlagenausrüstung wie etwa ein undichtes Ventil simuliert werden können →02. Die daraus resultierenden Fehlerdaten können dabei helfen, den Mangel an ausreichenden Fehlerfällen für das maschinelle Lernen zu beseitigen.

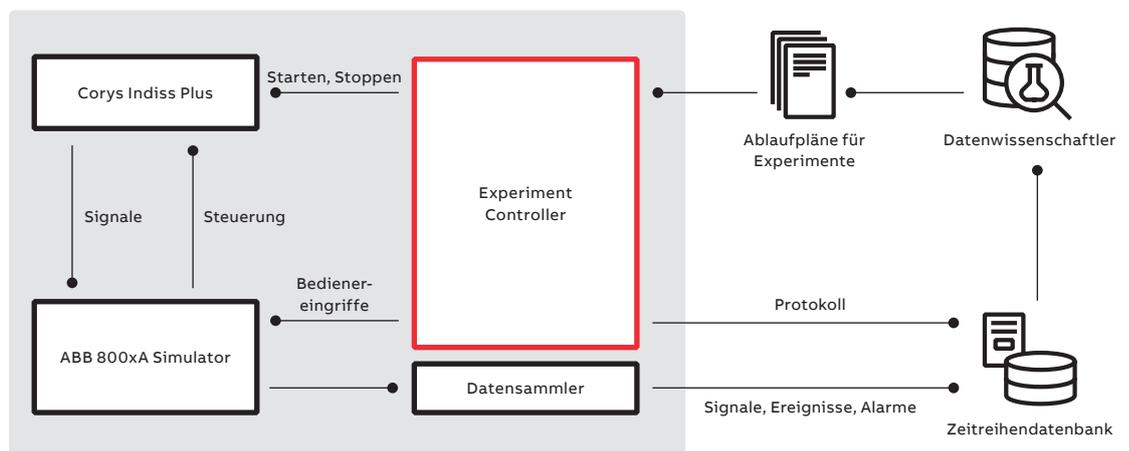
Zur Erstellung von Simulationsdatensätzen, die sich für das Training und die Validierung eines maschinellen Lernmodells eignen, muss die Durchführung von Simulationsexperimenten automatisiert werden. In dem vorliegenden Fall wurde ein sogenannter Experiment Controller

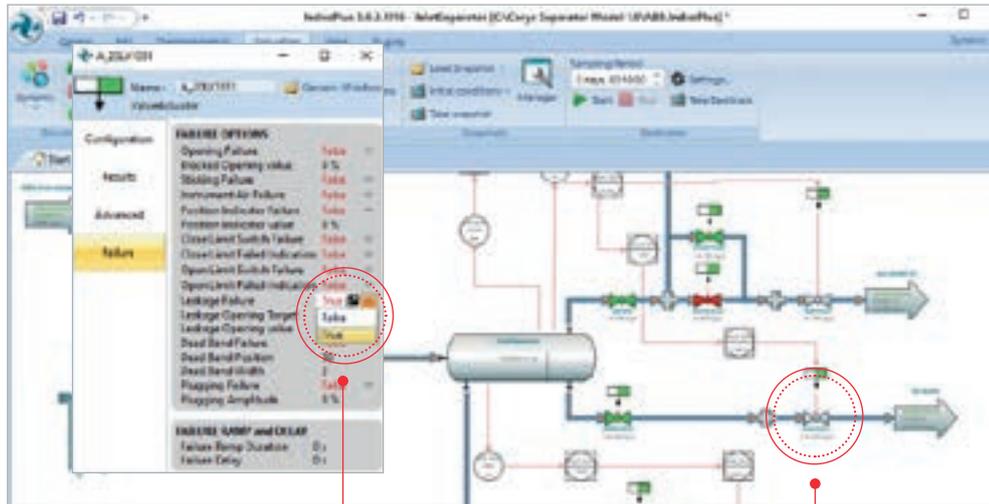
führt die Experimente stapelweise durch, indem die Prozesssimulation bei unterschiedlichen Prozesszuständen gestartet und gestoppt wird und Bedieneingriffe automatisch durchgeführt werden. Darüber hinaus startet der Controller die Datenerfassung von einem 800xA Simulator. Dieser ermöglicht die Simulation von ABB 800xA als Leitsystem mit dem gleichen Bedienlayout, den gleichen Ansichten und der gleichen Steuerlogik wie in der realen Anlage. Die Daten und ein Protokoll der vom Experiment Controller durchgeführten Handlungen werden in einer Zeitreihendatenbank gespeichert und Datenwissenschaftlern für das Training maschineller Lernmodelle bereitgestellt.

Entwicklung eines maschinellen Lernmodells zur Anomalieerkennung

Bei der hier beschriebenen Studie wurden simulierte Datensätze verwendet, um ein Modell zur Anomalieerkennung zu trainieren, das in der Lage ist, simulierte Gerätefehler zu erkennen.

01 Infrastruktur zur Datenerzeugung und -erfassung.





02

Simulation eines undichten Ventils

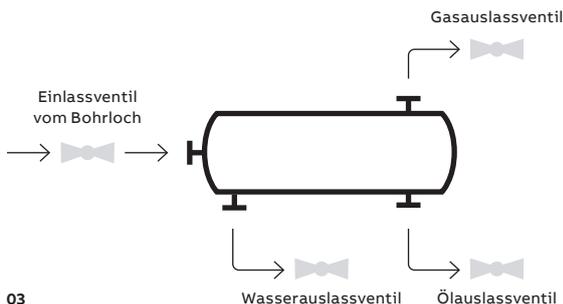
Ein praktikabler Ansatz zur Erkennung von Anomalien in Signalzeitreihen mithilfe von maschinellen Lernverfahren ist der Einsatz von sogenannten Autoencodern [4]. Ein Autoencoder besteht aus zwei künstlichen neuronalen Netzen: Das erste lernt, die Daten zu komprimieren (Encoder), und das zweite lernt, die komprimierten Daten zu rekonstruieren (Decoder). Für die Anomalieerkennung wird der bei der Rekonstruktion auftretende Fehlerwert genutzt, um die „Anomalität“ der Daten zu messen.

Bei der hier beschriebenen Studie wurde der Prozesssimulator Indiss Plus von Corys verwendet. Dazu hatte Corys ein realitätsnahes Simulationsmodell eines Dreiphasen-Separatorprozesses implementiert, wie er typischerweise bei der Ölförderung zum Einsatz kommt. Die Kernkomponente dieses Prozesses ist ein Separator, der den Fluidstrom vom Bohrloch in die drei Bestandteile Öl, Gas und Wasser trennt. Um ein einwandfreies Funktionieren des Separators zu gewährleisten, müssen die Wasser- und Ölfüllstände sowie der Gasdruck im Gleichgewicht gehalten werden. Dies erfolgt automatisch durch

Ansteuerung verschiedener Ventile →03. Wird der Sollwert für eine Komponente verändert, passt das System die anderen Werte automatisch an, um den gesamten im Gleichgewicht zu halten.

Der oben beschriebene Simulator wurde verwendet, um einen Autoencoder auf die Erkennung eines physischen Ventilfehlers wie etwa eine Verstopfung oder Leckage zu trainieren. Solche Fehler sind für den Anlagenfahrer häufig schwer zu erkennen, besonders wenn sie nicht direkt auf seiner Bedienoberfläche angezeigt werden, weil z. B. keine entsprechenden Sensoren zur Erkennung solcher Fehler vorhanden sind. Die Idee bestand darin, einen Autoencoder mit den Signaltrends vom Dreiphasen-Separatorprozess

Mit dem Simulator wurde ein Autoencoder auf die Erkennung eines physischen Ventilfehlers trainiert.

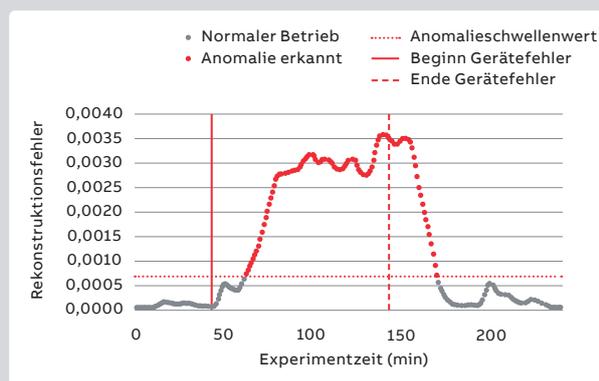


03

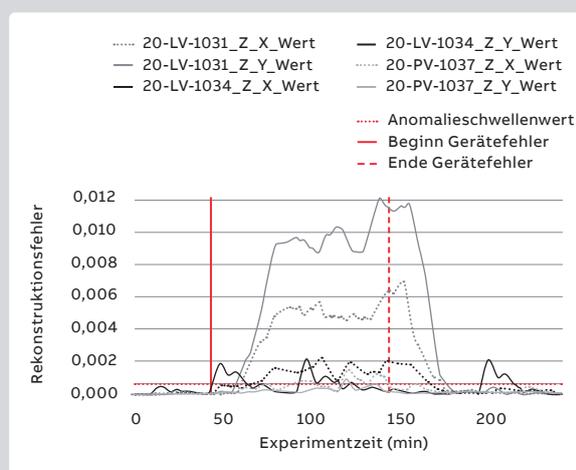
im normalen – also fehlerlosen – Betrieb zu trainieren. Anschließend wurde versucht, mit dem trainierten Autoencoder die Trends von verschiedenen simulierten Gerätefehlern zu rekonstruieren.

Bei der Evaluierung war der Autoencoder in der Lage, Gerätefehler als Anomalien zu erkennen, da ihm die „fehlerbehafteten“ Signaltrends vom Modelltraining nicht bekannt waren. Die Folge ist ein relativ großer Fehlerwert bei der Rekonstruktion. Liegt der Fehler über einem vorher festgelegten Schwellenwert, klassifiziert

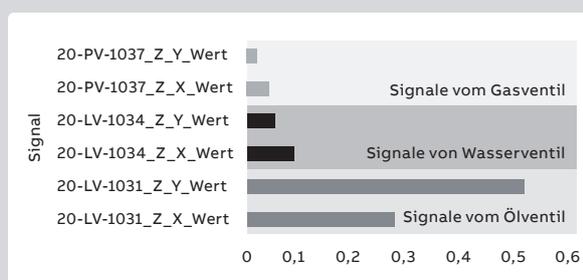
REKONSTRUKTIONSFehler



SIGNALBASIERTER REKONSTRUKTIONSFehler



GESAMTBEITRAG VERSCHIEDENER SIGNALS ZUR ANOMALIE



Lokalisierung der Ursache für die Anomalie

Lokalisierung der Ursache für die Anomalie

der Autoencoder die Situation als anomal und meldet die Anomalie dem Nutzer. Wie in →04 zu sehen, wurde der Anomalieschwellenwert genau zu dem Zeitpunkt überschritten, als der Gerätefehler auftrat. Als der Fehler in Indiss Plus jedoch abgestellt wurde, kehrte der Rekonstruktionsfehler des Autoencoders wieder auf einen normalen Wert zurück. Wird eine Anomalie erkannt, ist ein nächster Schritt die Lokalisierung der möglichen Ursache. In →04 wurde das Ölventil als Ursache ermittelt.

Hybride digitale Zwillinge

Die hier beschriebene Forschungsarbeit zeigt, wie ABB und Corys an der Entwicklung einer Infrastruktur für die reproduzierbare Forschung auf dem Gebiet des maschinellen Lernens zusammenarbeiten. Corys Indiss Plus und ABB 800xA Simulator schaffen eine Umgebung, die in der Lage ist, Daten zu liefern, die denen von realen Industrieanlagen erstaunlich ähnlich sind. Der Hauptunterschied besteht darin, dass die Wissenschaftler beim maschinellen Lernen die volle Kontrolle über die erzeugten Daten haben und ihren Ansatz zuverlässig und umfassend prüfen und evaluieren können. Die Kombination aus realitätsnaher Simulation auf der Basis mechanistischer Modelle und maschinellen Lernverfahren ermöglicht zudem die Erstellung von digitalen Anlagenzwillingen mit verschiedenen Arten von Modellen, die – je nachdem, welche Funktionalitäten der Zwillinge für die verschiedenen am Anlagenbetrieb beteiligten Personen vom Anlagenfahrer bis hin zum Management bereitstellen soll – effektiv eingesetzt werden können. Solche hybriden digitalen Zwillinge werden in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Realisierung autonomer Industrieanlagen spielen.

Der nächste logische Schritt dieser Forschungsarbeit besteht darin, die hier beschriebene maschinelle Lerninfrastruktur in einer Simulation einer realen Kundenanlage zu testen. So können die potenziellen Vorzüge von maschinellen Lernmodellen untersucht werden, die vorab mithilfe von Simulationsmodellen realer Anwendungen trainiert wurden. •

04

02 Simulation eines realistischen Gerätefehlers (hier eine Leckage des gewählten Ventils) in einer Anlage mithilfe von Indiss Plus.

03 Separator in einem Dreiphasen-Separatorprozess.

04 Erkennung eines Gerätefehlers (hier ein undichtes Ventil) mithilfe eines mit simulierten Prozessdaten trainierten Autoencoder-Modells.

Literaturhinweise

[1] T. Gamer, A. Isaksson: „Autonome Systeme“. *ABB Review* 4/2018, S. 8–11.

[2] T. Gamer et al.: „The autonomous industrial plant – future of process engineering, operations and maintenance“. *Journal of Process Control*, Vol. 88 (2020), S. 101–110.

[3] Corys: „Indiss Plus – Dynamic simulation platform“. Verfügbar unter: <https://www.corys.com/en/indiss-plus/> (abgerufen am 20.04.2021).

[4] M. Sakurada, T. Yairi: „Anomaly detection using autoencoders with nonlinear dimensionality reduction“. *Proceedings of the*

MLSDA 2014 2nd Workshop on Machine Learning for Sensory Data Analysis.

[5] Z. Ge et al.: „Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning“. *IEEE Access*, Vol. 2017, No. 5, S. 20590–20616.

[6] S. J. Qin, L. H. Chiang: „Advances and opportunities in machine learning for process data analytics“. *Computers and Chemical Engineering*, No. 126 (2019), S. 465–473.

[7] I. Amihai et al.: „An industrial case study using vibration data and machine learning to predict asset

health“. *20th IEEE International Conference on Business Informatics*. Wien, 2018.

[8] T. Wüste et al.: „Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications“. *Production & Manufacturing Research*, Vol. 4, No. 1 (2016), S. 23–45.

MASCHINEN MIT INTELLIGENZ

Integration von Maschinen und Robotern

B&R, Mitglied der ABB-Gruppe und weltweit führendes Unternehmen auf dem Gebiet der Industrieautomation, hat mit Machine-Centric Robotics eine Lösung entwickelt, die es Maschinen im Fertigungsbereich ermöglicht, in Echtzeit mit dazugehörigen Robotern zu kommunizieren.



01



Sebastian Brandstetter
B&R Industrial
Automation
Eggelsberg, Österreich

sebastian.brandstetter@
br-automation.com

Machine-Centric Robotics erleichtert die Bedienung von Maschinen, da es für Maschine und Roboter nur eine Benutzeroberfläche gibt. Damit ist ABB erstmalig in der Lage, ihren Kunden komplette Maschinensteuerungen einschließlich Antrieben, Sicherheitssystemen, HMI, Bildverarbeitung und Robotern als Paket aus einer Hand anzubieten – etwas, das kein anderes Unternehmen in dieser Form bietet.

Roboter entwickeln sich weiter. Mittlerweile arbeiten sie Seite an Seite mit Menschen, lernen aus Erfahrung, sind vernetzt, mobil und sogar autonom – Eigenschaften, die momentan sehr gefragt sind. Dies hat verschiedene Gründe, die von einer alternden Gesellschaft über den Mangel an Fachkräften bis hin zur verstärkten Nachfrage nach lokal gefertigten, individualisierten Produkten reichen, die dennoch erschwinglich und qualitativ hochwertig sind [1].

Während Fertigungsunternehmen alle Mühe haben, diese Anforderungen auch unter Corona-Bedingungen zu erfüllen, hat B&R in Zusammenarbeit mit anderen ABB-Einheiten eine Lösung entwickelt, die es Maschinen im

Fertigungsbereich ermöglicht, in Echtzeit mit dazugehörigen Robotern zu kommunizieren →01.

Blitzschnelles Ausschleusen

Ein praktisches Beispiel für die Möglichkeiten dieser Lösung ist die Erkennung von Mängeln mithilfe einer Vision-Kamera von B&R. Hierbei werden die Daten von der Qualitätsprüfung in weniger als einer Millisekunde in einen Steuerungsbefehl für einen ABB-Roboter umgesetzt,

In weniger als einer Millisekunde werden die Daten von der Qualitätsprüfung in einen Steuerungsbefehl umgesetzt.

der das fehlerhafte Werkstück ohne manuelles Eingreifen oder Beeinträchtigung der Produktionsgeschwindigkeit aus dem Prozess entfernt. Die Lösung, die ABB-Roboter in das Steuerungssystem von B&R integriert, basiert auf einer



DIE MAPP-TECHNOLOGIE

revolutioniert die Erstellung von Software für Industriemaschinen und -ausrüstung. Modulare vorprogrammierte Softwarekomponenten (mapps) sind so einfach zu verwenden wie eine Smartphone-App. Anstatt Tausende von Programmzeilen schreiben zu müssen, um z. B. ein Benutzerverwaltungssystem, Alarmsystem oder eine Bewegungssteuerungssequenz zu erstellen, können Maschinensoftwareentwickler mit wenigen Mausklicks vorgefertigte mapps konfigurieren. So lassen sich auch komplexe Algorithmen einfach beherrschen, und Programmierer können sich ganz auf die Maschinenprozesse konzentrieren.

02

— 01 Machine-Centric Robotics ermöglicht es Maschinen im Produktionsbereich, in Echtzeit mit Robotern zu kommunizieren.

— 02 Modulare vorprogrammierte Softwarekomponenten (mapps) sind so einfach zu verwenden wie eine Smartphone-App.

einheitlichen Architektur, die die Informationen, die von den beiden vormals getrennten Systemen benötigt werden, vereint. Dadurch entfällt die Notwendigkeit einer eigenen Robotersteuerung, eines eigenen Schaltschranks und von Personal mit Kenntnissen in spezifischen Robotersprachen.

— Die Integration der Roboter in die Maschinenautomatisierung wird durch vorkonfigurierte Softwaremodule unterstützt.

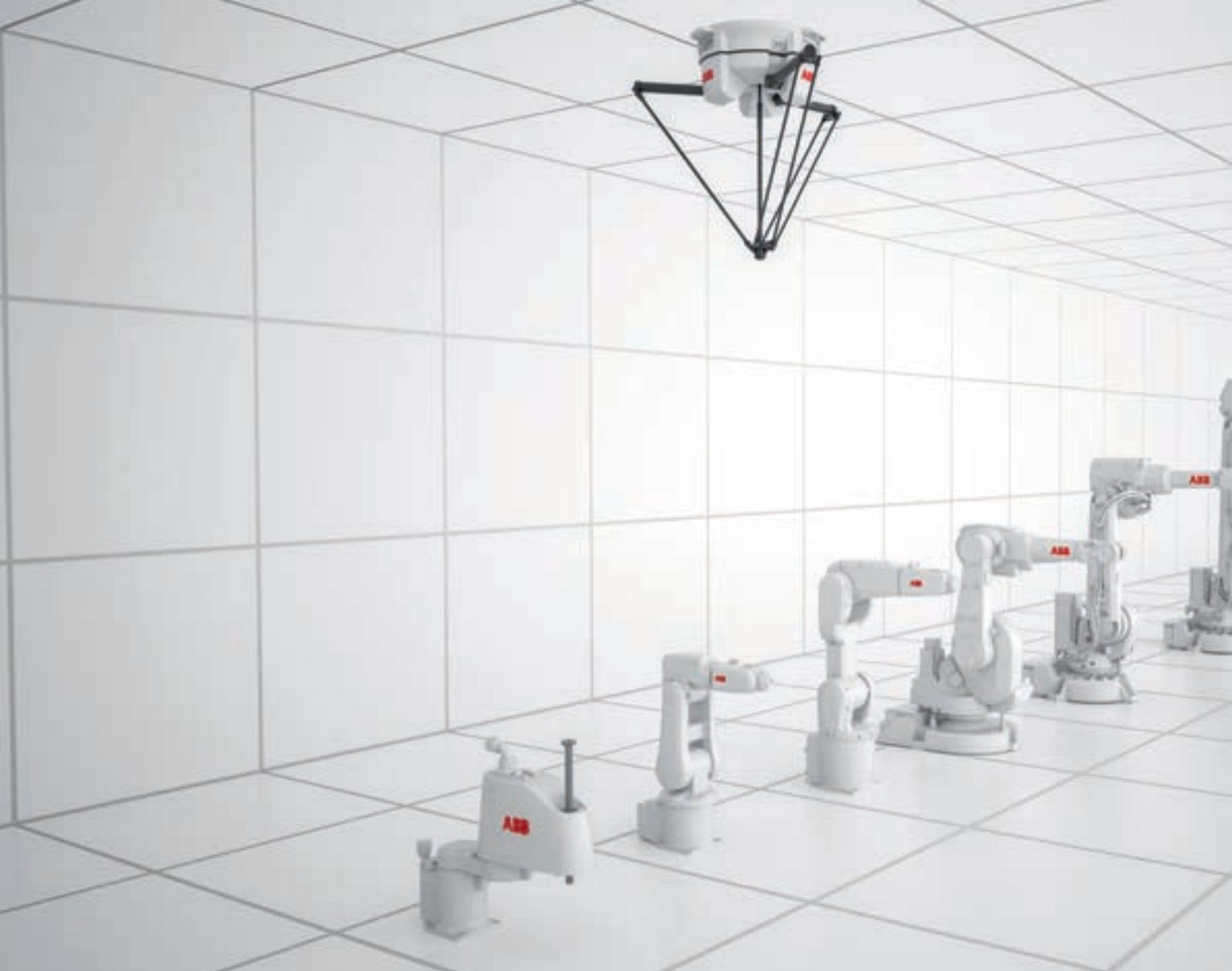
Die Integration von ABB-Robotern in Maschinenautomatisierungslösungen wird unterstützt durch vorkonfigurierte Softwaremodule von B&R (sogenannte mapps →02), die darauf ausgelegt sind, Maschinenbauern die Erstellung von Robotikapplikationen zu vereinfachen. Die Robotics-mapp beinhaltet z. B. neben Standardfunktionen für die Steuerung und Inbetriebnahme auch

erweiterte Funktionen zur Vorsteuerung und zur Kompressor- und Arbeitsbereichsüberwachung. Dies bietet dem Nutzer die Möglichkeit, komplexe und hochdynamische Applikationen zu realisieren, ohne neuen Programmcode schreiben zu müssen, was die Entwicklungszeit drastisch reduziert.

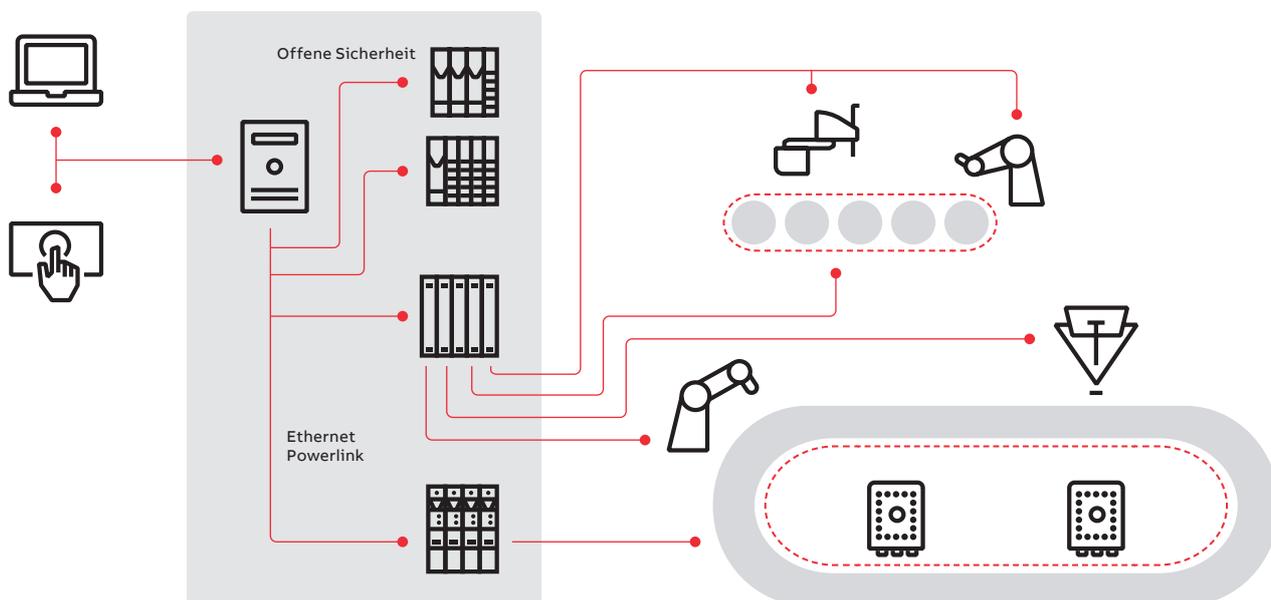
Aus einer Hand

Für B&R-Kunden – insbesondere diejenigen, die Maschinen in Serie fertigen – ist dies genau das, was sie benötigen. Der Hauptgrund liegt auf der Hand: Normalerweise ist die Integration und Programmierung eines Roboters sehr aufwändig. Dies gilt besonders für kleine und mittelgroße Maschinenbauer, da innerhalb vieler Maschinen extrem schnelle, hochsynchronisierte Prozesse ablaufen. Diese Prozesse in harter Echtzeit mit einem externen Gerät zu koordinieren, ist äußerst schwierig oder gar unmöglich.

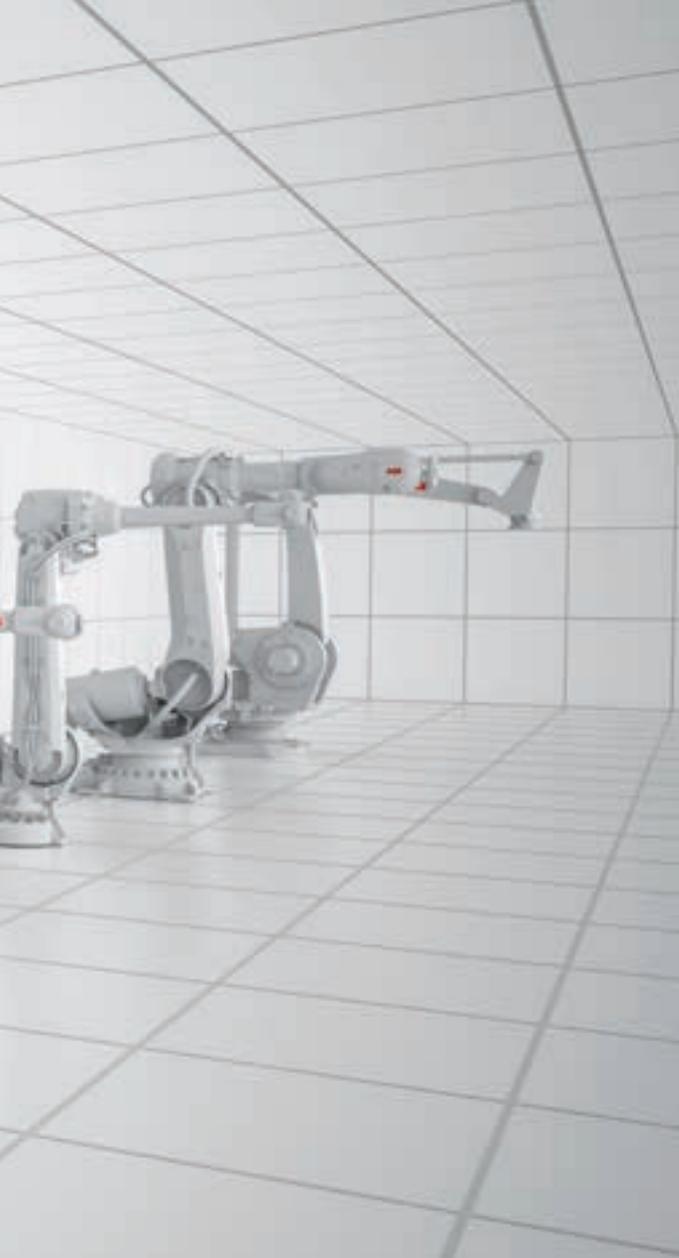
Ein zweiter Grund ist die Tatsache, dass den meisten SPS-Programmierern die zur Entwicklung von Robotikapplikationen verwendeten Tools und Programmiersprachen fremd sind. Und drittens ist ein zusätzlicher Lieferant stets mit zusätzlichem Aufwand verbunden.



03



04



Maschinenbauer. Roboterzentrierte Lösungen hingegen werden für gewöhnlich von Systemintegratoren und Endkunden eingesetzt, also den typischen Kunden der Robotiksparte von ABB. Damit sind die Teams von B&R und ABB nun in der Lage, die Anforderungen beider Kundengruppen perfekt abzudecken.

Und beide Gruppen profitieren von Synergien. So können Maschinenbauer aus einer breiten Palette von ABB-Robotern einschließlich Gelenkarm-, SCARA¹-, Delta- und Palettierrobotern mit verschiedenen Größen und Traglasten wählen →03. Letztere sind besonders wichtige Eigenschaften für Maschinenanwendungen, in denen ein hohes Maß an Synchronisation mit anderen Komponen-

—
 Eine Pilotanwendung befindet sich in Betrieb, und die ersten Roboter werden Mitte 2021 erhältlich sein.

—
 03 B&R-Kunden können aus einer Palette von Gelenkarm-, SCARA-, Delta- und Palettierrobotern mit unterschiedlichen Größen und Traglasten wählen.

—
 04 Roboter sind vollständig in das B&R-System integriert.

Literaturhinweis

[1] T. Okuma (2018): „Editorial“. Verfügbar unter: https://ifr.org/downloads/press2018/Editorial_WR_2019_Industrial_Robots.pdf

Fußnote

1) Ein SCARA-Roboter (Selective Compliance Articulated Robot Arm) ist ein Schwenkarm-Roboter mit vier Freiheitsgraden.

Obwohl Maschinenbauer mit der neuen Lösung die komplette Steuerungstechnik und die Robotik aus einer Hand erhalten, bleibt das klassische Robotikangebot von ABB bestehen. Das bedeutet, dass roboterzentrierte Anwendungen wie das Schweißen von Autokarosserien weiterhin die Domäne von anderen Robotik-Geschäftseinheiten von ABB bleiben.

Die Trennung zwischen beiden Bereichen ist klar definiert. Wenn der Roboter – so wie beim Schweißen – im Zentrum des gesamten Prozesses steht, ist es eine klassische Robotik-Anwendung. Wenn ein Roboter den Prozess jedoch nur unterstützt, indem er z. B. defekte Werkstücke blitzschnell aus dem Produktionsprozess ausschleust, dann kommt die maschinenzentrierte Robotik von B&R ins Spiel.

Bootcamp für Roboter

Wie die Anwendungen unterscheiden sich auch die Kunden. Die maschinenzentrierte Robotik zielt auf das klassische Klientel von B&R ab, den

ten erforderlich ist, wie etwa bei Kommissionierlösungen. Außerdem profitieren Maschinenbauer von einer direkten und umfassenden Beratung und Unterstützung im Bereich Robotik und Maschinensteuerung. B&R fungiert somit als Vertriebskanal der Wahl für Maschinenbauer, die nach robotergestützten Lösungen suchen.

Kurz gesagt, die Engineering-Teams von B&R und ABB haben es geschafft, die Kommunikation zwischen Servoantrieben von B&R und den Motoren in ABB-Robotern zu optimieren →04. Während sich die Entwicklungsarbeiten dem Ende nähern, beginnen die Teams mit einer umfangreichen Testphase.

Jeder Roboter wird in einer Art „Bootcamp“ einer sechsmonatigen Ermüdungsprüfung unterzogen, um sicherzustellen, dass Roboter, Steuerungen und Antriebssystem beim Kunden einwandfrei zusammenarbeiten. Eine Pilotanwendung befindet sich bereits in Betrieb, und die ersten Roboter werden Mitte 2021 erhältlich sein •

 MASCHINEN MIT INTELLIGENZ

Maschinenautomation und Robotik aus einer Hand



B&R-Robotikspezialist Sebastian Brandstetter erklärt, wie Kunden von einer beispiellosen Präzision bei der Synchronisation zwischen Robotik und Maschinensteuerung profitieren.

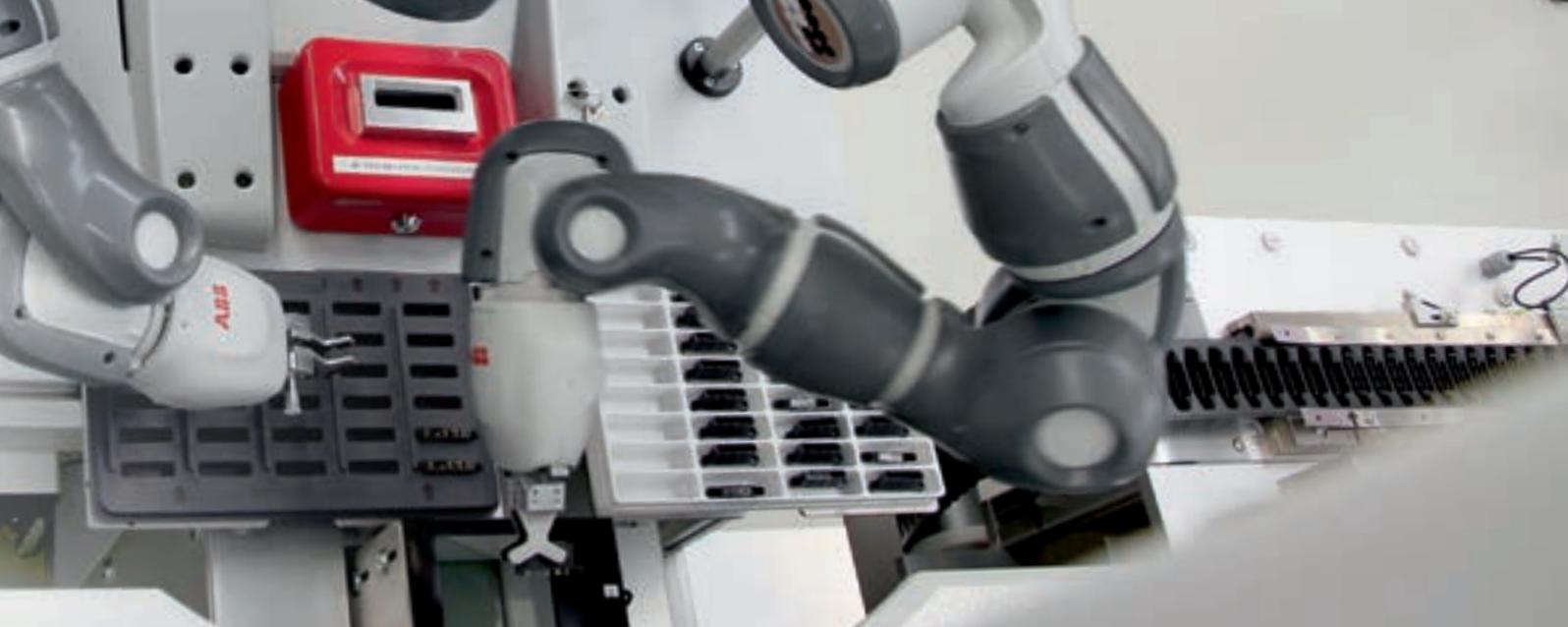
- AR** Herr Brandstetter, welchen Mehrwert kann ein OEM von der Integration von Robotern in seine Maschinen erwarten?
- SB** Ich sehe drei Hauptvorteile. Erstens machen Roboter Maschinen flexibler. Zweitens ist ein Roboter häufig die einfachste Möglichkeit, bestimmte Aufgaben auszuführen. Und drittens können Roboter Arbeiten erledigen, die für Menschen zu gefährlich, zu anstrengend oder zu monoton sind.
- AR** Erfordern viele Prozesse noch menschliches Eingreifen?
- SB** Der Umfang der Automatisierung in der Fertigung hat in den letzten drei Jahrzehnten drastisch zugenommen. Dennoch gibt es viele Maschinen und Anlagen, in denen menschliche Arbeitskräfte für bestimmte Prozessschritte benötigt werden. Nehmen wir z. B. eine Blechbiegemaschine. Man sieht noch immer Menschen, die die Bleche von Hand einlegen und umdrehen, bis alle Biegungen ausgeführt sind. Das ist eine sehr anspruchsvolle Arbeit, für die sich immer schwieriger qualifizierte Arbeitskräfte finden lassen.
- AR** Was sie zum perfekten Kandidaten für Roboter macht.
- SB** Ganz genau. Aber nicht nur das. Neben dem Einlegen der Bleche kann der Roboter auch als zusätzliche Bewegungssteuerungsachse beim Biegeprozess dienen. Ganz zu schweigen von der

Tatsache, dass eine voll automatisierte Biegemaschine 24 Stunden am Tag laufen kann.

- AR** Könnte man eine solche Maschine nicht mit einer konventionellen Roboterlösung bauen?
- SB** Das ist nicht so einfach. Die Bewegungen der Biegemaschine und die Bewegungen des Roboters sind eng miteinander verflochten. Um hochwertige Biegeergebnisse zu erreichen, müssen die Achsen ständig Daten miteinander austauschen. Die einzige Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, die Roboteranwendung so in die Maschine zu integrieren, dass man nur eine Steuerung und eine Steuerungsanwendung hat.

Ich glaube, eine Investition in Robotik macht sich häufiger bezahlt, als man denkt.

- AR** Sie haben gesagt, dass Roboter Maschinen flexibler machen. Können Sie erklären, wie sie das machen?
- SB** Eine typische Produktionsmaschine ist darauf ausgelegt, ein bestimmtes Produkt oder Modell eines Produkts herzustellen. Manchmal gibt es dabei komplexe mechanische Systeme, die die Aufgabe haben, Produkte von einem Teil der Maschine zum nächsten zu bewegen. Verändert sich das Produkt – z. B. in Größe, Form oder Gewicht – müssen alle diese Systeme angepasst, ersetzt oder vollständig neu konstruiert werden. Einen Roboter kümmert all dies nicht. Er berechnet einfach seine Bahn neu und ist bereit, weiterzumachen.



AR Klingt, als wenn Roboter jede Maschine produktiver machen würden.

SB Ganz so weit würde ich nicht gehen. Aber ich glaube, eine Investition in Robotik macht sich häufiger bezahlt, als man denkt. Dazu gehören auch Fälle, in denen es um die Sicherheit des Bedienpersonals geht.

AR Wie das?

SB Denken wir an etwas mit vielen sich schnell bewegenden Teilen wie etwa eine Abfüllanlage. Hier müssen defekte oder umgekippte Flaschen sehr schnell aus der Produktionslinie entfernt werden. Wenn ein Mensch das machen soll, muss die Linie auf eine sichere Geschwindigkeit abgebremst werden, damit die Schutztür geöffnet werden kann. Wenn ein Roboter das übernimmt, kann die Maschine ohne Unterbrechung mit voller Geschwindigkeit weiterlaufen.

Maschinenbauer können ihren Kunden Maschinen anbieten, die sich automatisch an neue Produkte anpassen.

AR Brauchen die Maschinen mehr Platz, wenn man Roboter hinzufügt?

SB Im Gegenteil. Integrierte Roboter reduzieren den Platzbedarf einer Maschine, da sie Handhabungsaufgaben übernehmen, für die sonst komplexe – und somit große – mechanische Systeme erforderlich wären. Darüber hinaus können Roboter horizontal oder über Kopf hängend installiert werden, um Platz zu sparen. Und für Maschinenbauer, die Roboter mit einem intelligenten Tracksystem kombinieren, ist das Optimierungspotenzial sogar noch größer.



**Sebastian
Brandstetter**

Produktmanager
Integrierte Robotik,
B&R
Eggelsberg, Österreich

AR Zum Beispiel?

SB Die Shuttles auf dem Tracksystem können unabhängig voneinander gesteuert und mikrosekundengenau mit der Bewegung des Roboters synchronisiert werden. So können Verarbeitungsschritte durchgeführt werden, während die Shuttles in Bewegung sind, und ohne Veränderungen an der Hardware an verschiedene Produkte angepasst werden. Man bekommt eine höhere Produktionsleistung aus einer Maschine, die weniger Stellfläche benötigt.

AR Was bedeutet das für Maschinenbauer?

SB Sie können ihren Kunden eine ganz neue Art von Maschine anbieten: eine Maschine, die sich automatisch an neue Produkte anpasst – auch solche, die es beim Bau der Maschine noch nicht gab. So kann eine der dringlichsten Erwartungen von Verbrauchern bedient werden: individualisierte Produkte zu Massenfertigungspreisen. •

 MASCHINEN MIT INTELLIGENZ

Erklärbare künstliche Intelligenz: der Schlüssel zum Vertrauen in Maschinen

Wie können wir lernen, Maschinen zu vertrauen? Der Schlüssel hierzu liegt darin, künstliche Intelligenz erklärbar zu machen. ABB blickt auf die wegweisenden Forschungen verschiedener großer Unternehmen zurück und befasst sich mit aktuellen Forschungen auf diesem betriebswirtschaftlich bedeutenden Gebiet.



Jinendra Gugaliya
ABB Corporate Research,
Process Automation
Bangalore, Indien

jinendra.gugaliya@
in.abb.com

Künstliche Intelligenz (KI) wird immer mehr Teil unseres täglichen Lebens – häufig ohne, dass wir es bemerken. So nutzt Netflix z. B. einen Empfehlungsdienst, um seinen Nutzern Filme vorzuschlagen. Bei diesem scheinbar einfachen Vorgang kommen maschinelle Lernverfahren (ML) zum Einsatz, die den verantwortlichen Algorithmen dabei helfen, Millionen von Entscheidungen auf der Grundlage von Nutzeraktivitäten zu treffen [1]. Facebook nutzt ein patentiertes computer-gestütztes optisches Erkennungssystem, um Bilder in Nutzeraccounts nach Logos und Marken zu durchsuchen, um gezielte Werbung durch gesponserte Storyposts zu ermöglichen [2]. Außer in der Unterhaltung und Werbung finden Big Data und ML zunehmend auch in kritischen Anwendungen wie der Erkennung und Diagnose



K. Eric Harper
Ehemaliger ABB-
Mitarbeiter

KI-Modelle sind schwer zu erklären, was sich negativ auf ihre Akzeptanz auswirkt.

von Krankheiten, der Entscheidung über Kreditvergaben und in selbstfahrenden Autos Verwendung. Diese Anwendungen können durchaus einen wesentlichen Einfluss auf unser Leben haben. Welchen Film wir ansehen, mag belanglos sein, aber ob eine Hypothek gewährt wird oder

nicht, ist schon sehr entscheidend. Und hier liegt die Krux des Problems: Die KI-Modelle sind selbst für Datenwissenschaftler schwer zu erklären, was sich negativ auf ihre Akzeptanz auswirkt. Ohne die Fähigkeit, die Modelle zu erklären bzw. ohne eine gewisse „Erklärbarkeit“ ist es wahrscheinlich, dass sie nicht akzeptiert oder verwendet werden. Hinzu kommt, dass Vorschriften wie die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) eine größere Transparenz bei der Verarbeitung von Daten und Klarheit der KI-Prozesse verlangen, was Modellerklärungen unabdingbar macht [3].

Ganz gleich, ob Menschen oder Maschinen beteiligt sind, eine Begründung der Entscheidung würde das Verständnis für die Motivation hinter den Modellen fördern und ein Gefühl der Dringlichkeit schaffen. Dies wiederum erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die daraus resultierenden Empfehlungen akzeptiert und umgesetzt werden. Ohne dieses Verständnis ist es unmöglich, den Maschinen zu vertrauen, die wir bauen. Aus diesem Grund haben sich Forscher von ABB





eingehend mit der Geschichte der erklärbaren KI (Explainable Artificial Intelligence, XAI) befasst, um herauszufinden, wie dabei gewonnene Erkenntnisse für den zukünftigen Ausbau der KI genutzt werden können.

Gründe für frühe industrielle KI

Das zurzeit sehr aktive Forschungsgebiet der XAI hat seinen Ursprung in der Forderung, dass Diagnosen begründbar sein müssen. In den 1980er Jahren wurde das erste betriebsorientierte, wissensbasierte Entscheidungsunterstützungssystem von Westinghouse in Zusammenarbeit mit der Carnegie Mellon University erfunden und kommerzialisiert [4]. Einen wichtigen Beitrag zu den Errungenschaften leistete Eric Harper, der direkt an der Entwicklung der Diagnosesysteme GenAID, TurbinAID und ChemAID (Artificial Intelligence Diagnostics) beteiligt war und unter anderem zur Entwicklung von geistigem Eigentum und Softwaretechnologie auf der Basis eines Patents für ein System zur Fehlerdiagnose [5] beigetragen hat. Nachfolgende Patente von

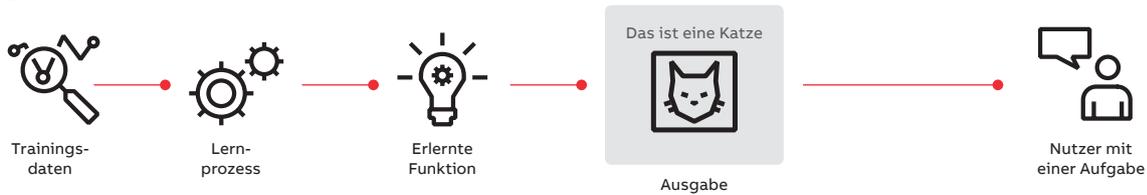
Die Forscher von ABB haben sich eingehend mit der Geschichte der erklärbaren KI befasst.

Westinghouse beschreiben eine Methode und ein System zum Testen eines wissensbasierten Expertensystems [6]. Harper entwickelte Werkzeuge und Verfahren zur Nutzung von Wissen, um bestimmte Handlungen auf der Basis von Diagnosen zu rechtfertigen. Dieses wichtige geistige Eigentum ist mittlerweile öffentlich zugänglich, und die Erkenntnisse sind auch heute noch relevant [7].

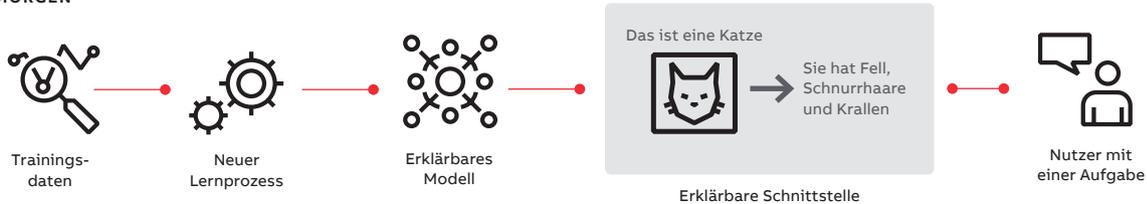
Innovationen zur Erklärung von KI-Ergebnissen

Vor Kurzem hat ein bekanntes Softwareberatungsunternehmen Ideen zur Erstellung eines Modells auf der Basis von Wissensrepräsentation aufgegriffen. Laut der US-Patentanmeldung soll eine Kombination aus Verfahren wie k-Means-Clustering, Hauptkomponentenanalyse,

HEUTE



MORGEN



01

Vorwärts- bzw. Rückwärtsverkettung und Fuzzy-Logik das generelle Problem der Erklärung von KI-Ergebnissen in der Praxis lösen [8]. Eine Ratingagentur, die sich mit Kreditrisiken befasst, nutzt zusätzliche Methoden, um Modelle mit unterschiedlichen Eingaben zu füttern und Kunden zu zeigen, wie verschiedene Eingaben zu unterschiedlichen Ausgaben führen, damit diese die getroffenen Kreditentscheidungen besser verstehen [9]. In einer US-Patentanmeldung beschreibt Intel ein Verfahren zur Erkennung von Diskrepanzen zwischen beobachteten Ergebnissen aus der ML-Trainingsphase und den im Betrieb erzielten Ergebnissen [10]. Eine weitere Patentanmeldung von Intel beschreibt den Einfluss neuronaler Netze auf erklärbare KI. Bei dem Verfahren geht es um die umfassende Verfolgung von Abhängigkeiten und dem Grad der Unterstützung zwischen niederen und höheren Netzschichten bis zurück zu den Eingabemerkmalen auf eine Art und Weise, die einem vorwärtsverketteten Expertensystem überraschend ähnlich sieht [11]. Google verbindet diese Ideen mit eigenen Tools und Frameworks [12], und auch IBM hat eine ähnliche Plattform entwickelt [13].

Trends im Bereich erklärbare KI

Diese neu erstarkte Forschungsaktivität auf dem Gebiet der XAI lässt sich ausgehend vom Grad der Transparenz in bestimmte Kategorien einteilen, deren Eigenschaften von geringer Transparenz (Black Box) bis zu hoher Transparenz (White Box) reichen [14]:

- Opake Systeme
- Verständliche Systeme
- Interpretierbare Systeme

Trotz der Vorteile, die die Konzeption und Entwicklung von XAI-Modellen mit sich bringt, können sie auch erhebliche Kosten verursachen. Hier gilt es, zwischen Erklärbarkeit und Genauigkeit

abzuwägen. Dieser Mittelweg und der Grad der Transparenz werden bestimmt von den Bedürfnissen der Unternehmen und der Art und Weise, wie die Anwendung in der Praxis eingesetzt wird.

—
Die Entwicklung wird von den Bedürfnissen der Unternehmen und der praktischen Anwendung bestimmt.

Die Logik hinter den Entscheidungen von ML-Modellen ist komplex und nicht offensichtlich. Den daraus resultierenden kritischen Entscheidungen ohne weitere Informationen zu vertrauen, ist problematisch. Diese Bedenken bestanden von Anfang an. So standen in den 1980er Jahren zwar neuronale Netze für die Maschinendiagnose zur Verfügung, wurden aber nicht implementiert. Umso wichtiger ist es, XAI in bestimmten Bereichen umzusetzen. Auf diese Weise können XAI-Modelle einer formalen Überprüfung unterzogen werden, was besonders bei medizinischen Anwendungen wichtig ist, wo die Empfehlungen über Leben und Tod entscheiden können.

Doch bevor ML-Modelle problemlos akzeptiert werden können, gilt es, eine weitere Herausforderung zu bewältigen: Wenn die Trainingsdaten nicht den gesamten Lösungsraum umfassen, kann es zu Verzerrungen kommen [15]. Solche Bias-Fehler können aufgedeckt werden, indem Tests über ein breites Spektrum von Bedingungen hinweg durchgeführt werden, um die Stärken und Schwächen der Lösung zu bestimmen.

— 01 Die Darstellung zeigt, wie „Black Boxes“ heute und in Zukunft mithilfe von erklärbarer KI geöffnet werden können. Das Modell wurde von FICO entwickelt [9].

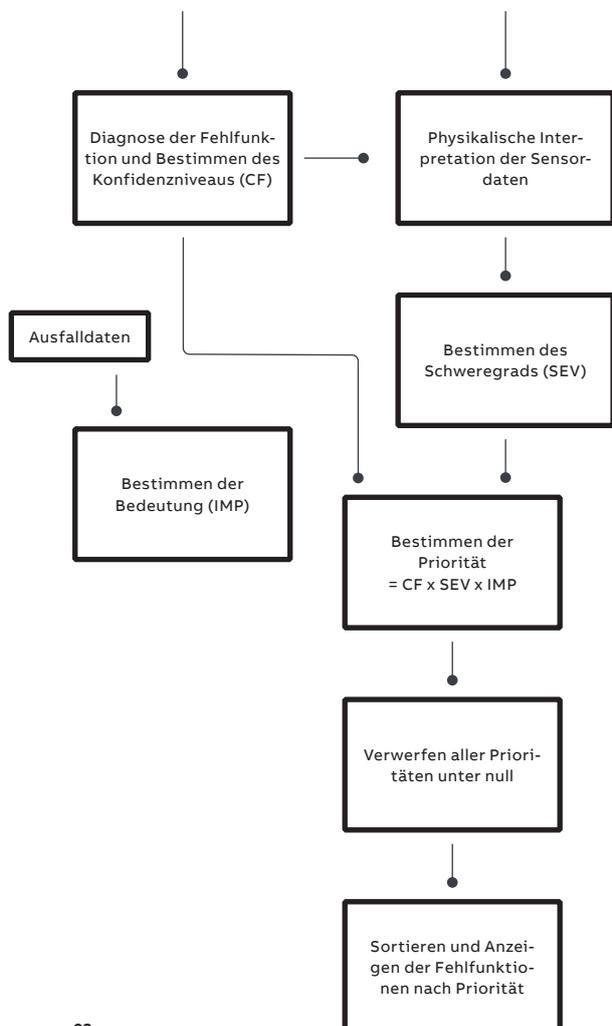
— 02 Eine praktische Unterstützung für die Entscheidungsfindung nach Bellows et al. [23]. Die Entscheidungsfindung basiert auf der Berechnung der Konfidenz (CF), des Schweregrads (SEV) und der Bedeutung (IMP).

Fußnote

1) Go ist ein abstraktes, strategisches Brettspiel für zwei Spieler.

Dennoch lassen sich aus XAI-Modellen erstaunliche neue Erkenntnisse gewinnen. Heutige ML-Systeme werden mit Millionen von Beispielen trainiert, sodass Datenmuster erkannt werden können, die für den Menschen nicht offensichtlich sind. Der frühere Traum von Westinghouse, dass Ingenieure eines Tages in der Lage sein würden, die von Modellen wie GenAID gesammelten Daten mithilfe von datenwissenschaftlichen Methoden zu analysieren und Neues zu entdecken, hat sich fast verwirklicht. Aus dem maschinellen Lernprozess lässt sich konzentriertes Wissen extrahieren, das neue Sichtweisen ermöglicht. So wurden mithilfe von ML z. B. neue Strategien zum Spielen von Go¹ entwickelt, die mittlerweile von menschlichen Spielern genutzt werden.

Gleichwohl ist eine opake Entscheidungsunterstützung für Unternehmen nicht attraktiv. Eine Bank muss dem Kunden mitteilen, warum ein Kreditantrag abgelehnt wurde. Außerdem müssen KI-Modelle gesetzlichen Anforderungen entsprechen und Nachweise für die generierten Entscheidungen liefern.



02

Dies hat die Europäische Union dazu veranlasst, neue Vorschriften zu erlassen, die ein „Recht auf Erklärung“ beinhalten. Danach hat ein Nutzer das Recht, nach den Gründen für eine relevante algorithmische Entscheidung zu fragen. Man hofft, dass XAI das notwendige Maß an Vertrauen, Glaubwürdigkeit, Fairness und Sicherheit für das Training und den Einsatz von ML-Modellen bieten wird, um Unternehmen zu überzeugen [16].

— **ML-Systeme werden mit Millionen von Beispielen trainiert, um nicht offensichtliche Datenmuster zu erkennen.**

Erklärung von KI-Modellen: aktueller Stand

Zurzeit werden zwei Ansätze verwendet, um KI-Modelle erklärbarer zu machen: Zum einen werden die Modellstrukturen unter dem Gesichtspunkt eines Interpretationsziels gewählt. Alternativ werden komplexe KI-Modelle einem Reverse Engineering unterzogen, um sie verständlich zu machen. Allerdings kann die Entwicklung von leicht nachvollziehbaren Modellen die Genauigkeit beeinträchtigen. Umgekehrt können z. B. komplexe mehrschichtige neuronale Netze (Deep Neural Networks, DNN) sehr genau, aber schwer interpretierbar sein. Algorithmen für die lineare Regression oder Modelle auf der Basis von Entscheidungsbäumen sind wesentlich einfacher zu erklären, aber weniger genau. Einen Mittelweg zwischen Genauigkeit und Interpretierbarkeit von KI-Modellen zu finden, ist zurzeit Gegenstand intensiver Forschung [17].

Ein weiteres XAI-Forschungsgebiet befasst sich mit dem Unterschied zwischen lokaler und globaler Interpretierbarkeit [18] → 03. Die lokale Perspektive, basierend auf Prinzipien der Sensitivitätsanalyse (SA), bestimmt, wie sich die Ausgabe des Modells durch Störungen der Eingaben oder Tuningparameter verändert. Die SA liefert zwar keine Erklärung des Funktionswerts selbst, kann aber die Faktoren und Konfigurationen bestimmen, die die Ergebnisse des Modells erklären. Die globale Perspektive verwendet zwei Verfahren: LRP und IDS. Die Layer-Wise Relevance Propagation (LRP) betrachtet die Vorhersagefunktion rückwärts, ausgehend von der Ausgabeschicht des neuronalen Netzes bis zurück zur Eingabeschicht. LRP erklärt die Entscheidungen des Klassifikators durch Zerlegung und ermöglicht die Darstellung in Form von Heatmaps [19]. Data-driven Intrusion Detection System (IDS) ist ein Verfahren, das verwendet wird, um zu bestimmen, welche Modifikationen

(der Eingabemerkmale) mindestens erforderlich sind, um eine bestimmte Reihe von falsch klassifizierten Beispielen korrekt zu klassifizieren. Der Umfang der Modifikation zeigt die relevantesten Merkmale, die den Grund für die Fehlklassifizierung erklären. LRP und IDS wurden von Forschern

—
ABB bietet ihren Kunden einen Mehrwert durch die Integration fortschrittlicher KI.

kombiniert, um Atari-Spiele mithilfe von Deep Reinforcement Learning (DRL) zu spielen [20]. Die Forschung auf dem Gebiet der XAI wurde mittlerweile auf den Vergleich von Datensätzen erweitert. Hier werden Datenbeschreibungen in natürlicher Sprache (sogenannte Linguistic Protoform Summaries, LPS) mit Fuzzy-Regeln kombiniert, um ein System zu konzipieren, das in der Lage ist, verschiedene Datensätze numerisch zu vergleichen und Unterschiede mithilfe natürlicher Sprache zu erklären [21]. Da das Thema Usability bei der Modellentwicklung und -nutzung eine wichtige Rolle spielt, ist die Teamarbeit von Mensch und Maschine, das sogenannte Human-Machine-Teaming, ein bedeutender Aspekt der XAI-Forschung. So sollten ML-Modelle dem Nutzer die Möglichkeit bieten, die Modelle interaktiv auf der Grundlage von iterativen Lernprozessen zu tunen [22].



Ein praktischer Ansatz zur Entscheidungsunterstützung

Das Ingenieurwesen lehrt uns, dass jedes komplexe Problem gelöst werden kann, indem man die Arbeit in mehrere Komponenten aufteilt, diese unabhängig voneinander baut und prüft und sie anschließend wieder zu einer vollständigen Lösung zusammenfügt. In den 1980er Jahren entwickelte Westinghouse ein System zur erklärbaren Entscheidungsunterstützung im Anlagenmanagement und erfand Verfahren zur Priorisierung von Reparaturen an Anlagenkomponenten [23]. Grundlage hierfür war die Validierung von Messungen zur Erstellung von Systemdiagnosen und Empfehlungen unter Berücksichtigung aktueller Zustände. Ein großer Hersteller von elektrischen Anlagen nutzt dieses System weiterhin für die standortbasierte Überwachung von Kraftwerken und Turbogeneratoren in seinem Power Diagnostics Center [24]. Das System nutzt im Wesentlichen drei Variablen, um potenzielle Probleme einzustufen:

- CF – Konfidenzniveau in einer Diagnose
- SEV – Kehrwert der Zeit bis zum Ausfall
- IMP – Kosten, die durch den Ausfall und die Reparatur des maximalen Schadens verursacht werden

Die Variablen werden für alle Sensoren, Komponenten und Systeme berechnet, die zu einer Fehlfunktion oder einem Ausfall beitragen. Aus dieser Kombination wird dann die Priorität von Maßnahmen für jede mögliche Fehlfunktion bestimmt. Die Gründe für die Einstufung sind gegenüber dem Kunden erklärbar, da die drei Variablen und die Diagnosedetails über die Komponenten und Sensormessungen zurückverfolgt werden können. Auf diese Weise können Kunden die Einstufung akzeptieren, ohne sich eingehend mit den Details befassen zu müssen.



05

—
03 Erklärbare KI bietet Nutzern die Möglichkeit, Entscheidungen zu verstehen und zu akzeptieren. Die Fähigkeiten, zu entdecken, zu steuern, zu rechtfertigen und zu verbessern, sind miteinander gekoppelt.

—
04 Für ABB bietet KI ein enormes Potenzial, weshalb sie in vielen Bereichen eingesetzt wird. Bei der Analyse einer industriellen Anlage kann der Ingenieur z. B. interessante Muster markieren, die dann zum Training eines Klassifikators auf der Basis rekurrenter neuronaler Netze (RNN) verwendet werden können.

—
05 Durch die Integration erklärbarer KI in ABB-Sensordiagnosen können Anlagenfahrer und -manager verstehen und akzeptieren, was getan werden muss.

—
06 Kunden profitieren von erklärbarer KI, ohne dass sie sämtliche Berechnungen verstehen müssen, die zur Entscheidungsfindung durchgeführt werden.



06

Die Integration von XAI in Anwendungen schafft das Vertrauen, das heute wichtiger denn je ist.

Relevanz für ABB

Da Rechenleistung in den 1980er Jahren nur begrenzt zur Verfügung stand, wurden automatisierte Servicelösungen darauf ausgelegt, die bestmögliche Leistung mit begrenzten Ressourcen zu erreichen. Heute können die ursprünglich analysierten Kennwerte selbst für die höchste Granularität von Komponenten berechnet und auf der Grundlage ihrer Beziehungen und Abhängigkeiten kombiniert werden. ABB nutzt das Wissen und die Verfahren von frühen Arbeiten für ihre automatisierten Servicelösungen. Heute verfügt ABB über eine Vielzahl von Zustandsüberwachungslösungen, die Konfidenzniveaus anzeigen, sobald Probleme mit Betriebsmitteln auftreten → 04–06. Die ABB Ability™ Advanced Digital Services beinhalten Funktionen, die sich mit dem kritischen Aspekt der Zeit bis zum Ausfall befassen. Mithilfe begabter Ingenieure

und Informationswissenschaftler entwickelt ABB datenwissenschaftliche Lösungen zur Berechnung der wichtigen Variablen CF, SEV und IMP. Dank eines tiefen Verständnisses der Gesamt-Reparaturkosten nach einem Ausfall ist ABB in der Lage, Probleme datenbasiert zu diagnostizieren, was zur Entwicklung neuer Services wie ABB Ability™ geführt hat.

Als Vorreiter auf dem Gebiet der Industrieautomation bietet ABB ihren Kunden einen Mehrwert durch die Integration fortschrittlicher KI zur Verbesserung der vorausschauenden Wartung, Optimierung und Leistungsfähigkeit. Gleichwohl müssen Anlagenfahrer und -manager die Rechtfertigung und Gründe hinter den von KI-Modellen generierten und von Betriebs- und Serviceanwendungen empfohlenen Entscheidungen verstehen, bevor sie potenziell kostspielige Maßnahmen ergreifen /05. Durch die Integration von erklärbarer KI in Anwendungen hebt sich ABB auf dem Markt ab. Das schafft das Vertrauen, das heute wichtiger denn je ist. Wenn Modelle erklärbar sind, können sich Experten und Endnutzer sicher sein, dass die Ergebnisse unvoreingenommen, sicher, legal, ethisch und angemessen sind. •

Literaturhinweise

- [1] Code Academy: „Netflix Recommendation Engine“. Verfügbar unter: <https://www.codecademy.com> (abgerufen am 05.05.2020).
- [2] A. Razaq: „Facebook’s New Image Recognition Algorithm Can Scan your Picture for Advertising Opportunities“. *B2C Business to Community*, 19.05.2019. Verfügbar unter: <https://www.business2community.com> (abgerufen am 05.05.2020).
- [3] A. Woodie: „Opening up Black Boxes with Explainable AI“. *Datanami*, 30.05.2018. Verfügbar unter: <https://www.datanami.com> (abgerufen am 05.05.2020).
- [4] E. D. Thompson et al.: „Process Diagnosis System (PDS) – A 30 Year History“. *Proc. 27th Conf. on Innovative Applications of AI*, Jan. 2015. Verfügbar unter: [tps://dl.acm.org/doi/10.5555/2888116.2888260](https://dl.acm.org/doi/10.5555/2888116.2888260) (abgerufen am 05.05.2020).]
- [5] Thompson et al.: „Methods and apparatus for system fault diagnosis and control“. US Patent no. 4,649,515 (10.03.1987).
- [6] K. E. Harper et al.: „Expert system tester“. US Patent no. 5,164,912 (17.11.1992).
- [7] Y. Lizar et al.: „Implementation of Computer Damage Diagnosis by Expert System Based Using Forward Chaining and Certainty Factor Methods“. *International Journal of Scientific & Technology Research*, Vol. 8, Issue 6 (June 2019), S. 141–144. Verfügbar unter: <http://www.ijstr.org> (abgerufen am 05.05.2020).
- [8] L. Chung-Sheng et al.: „Explainable Artificial Intelligence“. US Patent Application no. 20190244122 (08.08.2019).
- [9] FICO: „How to Make Artificial Intelligence Explainable: A new Analytic Workbench“. *FICO/blog*, 18.09.2018. Verfügbar unter: <https://www.fico.com/blogs> (abgerufen am 05.05.2020).
- [10] J. Glen et al.: „Misuse Index for Explainable Artificial Intelligence in Computing Environments“. US Patent Application no. 20190197357 (27.06.2019).
- [11] K. Doshi: „Mapping and Quantification of Influence of Neural Network Features for Explainable Artificial Intelligence“. US Patent Application no. 20190164057 (30.05.2019).
- [12] GoogleCloud: „Understand AI Output and Build Trust“. Verfügbar unter: <https://cloud.google.com> (abgerufen am 05.05.2020).
- [13] A. Mojsilovic: „Introducing AI Explainability 360“. *IBM Research Blogs*, 08.08.2019. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/blogs> (abgerufen am 05.05.2020).
- [14] D. Doran et al.: „What does explainable AI really mean? A new Conceptualization of Perspectives“. *arXiv*, 02.10.2017. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1710.00794> (abgerufen am 05.05.2020).
- [15] N. Mehrabi et al.: „A Survey on Bias and Fairness in Machine Learning“. *arXiv*, 17.09.2019. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1908.09635> (abgerufen am 05.05.2020).
- [16] M. Miron: „Interpretability in AI and its relation to fairness, transparency, reliability and trust“. *European Commission HUMANIT*, 04.09.2018. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/jrc/communities/en/community/humaint> (abgerufen am 05.05.2020).
- [17] W. J. Murdoch et al.: „Definitions, methods, and applications in interpretable machine learning“. *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 116, Issue 44, 29.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.pnas.org> (abgerufen am 05.05.2020).
- [18] A. Adadi, M. Berrada: „Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI)“. *IEEE Access*, 17.09.2018. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8466590> (abgerufen am 05.05.2020).
- [19] W. Samek et al.: „Evaluating the Visualization of What a Deep Neural Network Has Learned“. *IEEE Transactions On Neural Networks and Learning Systems*, Nov. 2017. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7552539> (abgerufen am 05.05.2020).
- [20] H. Jo, K. Kim: „Visualization of Deep Reinforcement Learning using Grad-CAM: How AI Plays Atari Games?“. *IEEE Conf. on Games*, 23.08.2019. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8847950>.
- [21] A. Jain et al.: „Explainable AI for Dataset Comparison“. *IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, 26.06.2019. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8858911> (abgerufen am 05.05.2020).
- [22] A. Kirsch: „Explain to whom? Putting the User in the Center of Explainable AI“. *Proc. 1st Int. Workshop on Comprehensibility and Explanation in AI and ML*, 21.10.2018. Verfügbar unter: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01845135> (abgerufen am 05.05.2020).
- [23] Bellows et al.: „Automated system to prioritize repair of plant equipment“. US Patent no. 5,132,920 (21.07.1992).
- [24] I. Becerra-Fernandez, R. Sabherwal: „Knowledge Application Systems: Systems that Utilize Knowledge“. *Knowledge Management: Systems and Processes*, 2nd ed. New York: Routledge, 2015, S. 3–105.

MASCHINEN MIT INTELLIGENZ

Golden-Batch-Analysen sichern höchste Qualität

Chargenprozesse sind zwar agil, aber auch komplex, dynamisch und nichtlinear. ABB Ability™ BatchInsight erkennt sich entwickelnde Anomalien in solchen Prozessen und identifiziert die relevanten Prozessvariablen. So kann Ausschuss reduziert, der Energieverbrauch gesenkt und die Produktivität gesteigert werden.

—
01 Big Data kann dabei helfen, die Produktivität und Energieeffizienz in der Prozessindustrie zu verbessern.

—
Martin Hollender
Benedikt Schmidt
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

martin.hollender@de.abb.com
benedikt.schmidt@de.abb.com

Chaojun Xu
ABB Industrial Automation, Energy Industries
Mannheim, Deutschland

chaojun.xu@de.abb.com

Moncef Chioua
Department of Chemical Engineering
Polytechnique Montréal
Montréal, Kanada

Architekturen zur Verarbeitung großer Datenmengen wie Hadoop oder Spark bieten neue Möglichkeiten zur Analyse und Nutzung von historischen Daten aus Prozessanlagen [1,2]. Zu den möglichen Anwendungen solcher Technologien in der Prozessindustrie gehören die vorbeugende Wartung, Betriebsunterstützung, softwarebasierte Sensorik zur Überwachung und Steuerung sowie die Integration der Steuerungs- und ERP-Ebenen (Enterprise Resource Planning).

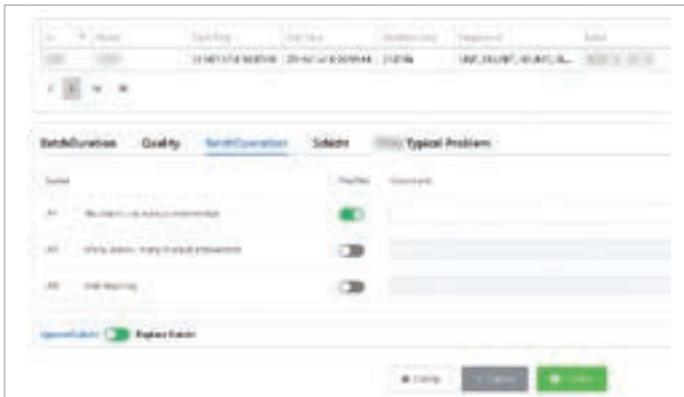
Ein Bereich, in dem sich mithilfe von Big Data besondere Verbesserungen erzielen lassen, ist die chargenverarbeitende Industrie →01. Aus diesem Grund hat ABB in Zusammenarbeit mit erfahrenen Anwendern das Operator-Support-System ABB Ability™ BatchInsight entwickelt, das in der Lage ist, Anomalien in einer Charge in Echtzeit zu erkennen und zu beseitigen. Das Online-System unterstützt einen reibungslosen und störungsfreien Anlagenbetrieb, indem es Anlagenfahrern dabei hilft, sich anbahnende Probleme

frühzeitig zu erkennen und im laufenden Betrieb zu korrigieren.

Das System nutzt historische Daten, um das zu erwartende Verhalten eines Chargenprozesses unter Normalbedingungen zu erlernen. Dazu wird ein statistisches Modell aus vielen gut gelaufenen Chargen, der sogenannte „Golden Batch“, erstellt und als Referenz für die gerade zu produzierende Charge verwendet. Kommt es zu Abweichungen vom Golden-Batch-Modell, erhält das Bedienpersonal eine Warnung.

Anwendungsszenario Chargenanalyse

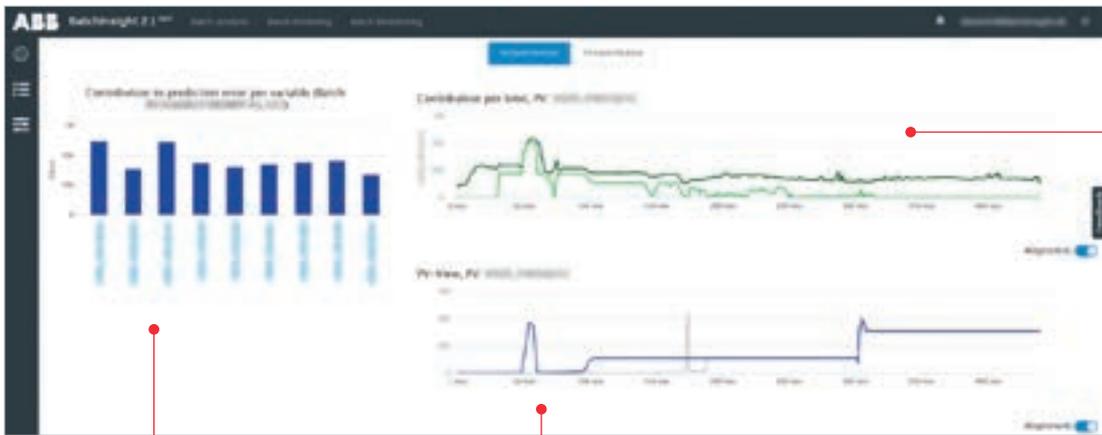
Zur Erstellung des statistischen Golden-Batch-Modells, das alle möglichen Verhaltensweisen einer guten Charge widerspiegelt, wurden die Daten von über 300 Chargenläufen über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren aus der Pilotanlage herangezogen →02.



02

The screenshot shows a table with columns for 'Batch ID', 'Batch Name', 'Batch Start', 'Batch End', 'Batch Duration', 'Batch Quantity', and 'Batch Status'. Red arrows point to the 'Batch ID' column, the 'Batch Name' column, the 'Batch Start' column, and the 'Batch End' column. The table contains several rows of data, including batch numbers like 0001, 0002, 0003, 0004, 0005, and 0006.

03



Abweichung im zeitlichen Verlauf (dunkelgrün: alle Variablen; hellgrün: gewählte Variable)

Anteil je Variable

Anteil einer gewählten Variable im zeitlichen Verlauf: untersuchte Variable (blau) gegenüber einer Referenzcharge (grau)

04

—
02 Dialog zur
Chargenkennzeichnung
in ABB Ability™
BatchInsight.

—
03 Modell-Editor in ABB
Ability™ BatchInsight.

—
04 Anteile an der
Abweichung pro
Variable und im
zeitlichen Verlauf.

In einem ersten Schritt wurden die Chargen als „gut“ oder „schlecht“ gekennzeichnet – ein Vorgang, der nicht immer so einfach ist, wie es zunächst scheint. So kann es z. B. sein, dass sich eine Charge zunächst in eine falsche Richtung entwickelt hat, aber dann durch Eingreifen des Bedienpersonals doch noch rechtzeitig und mit guter Qualität produziert wurde. Damit ist es aus Anlagensicht zwar eine gute Charge, aber nicht für das maschinelle Lernen, da es ohne das Eingreifen des Bedienpersonals zu einem Produktionsproblem gekommen wäre. Erschwerend hinzu kommt, dass das Bedienpersonal

ABB Ability™ BatchInsight enthält ein detailliertes Chargenmodell gemäß ISA-88.

auch aus Gründen eingreifen kann, die nichts mit unerwünschtem Prozessverhalten zu tun haben. Während die Produktion läuft, sind dem Bedienpersonal die Hintergründe normalerweise klar. Doch später ist es manchmal weniger offensichtlich, warum die Trendkurven so aussehen, wie sie aussehen. Mit anderen Worten, wichtiger betrieblicher Kontext kann verloren gehen. Da moderne Big-Data-Analysetools auf solche Kontextinformationen angewiesen sind, gilt es, ein System zu entwickeln, das diese Informationen erfasst. Außerdem muss das Bedienpersonal geschult und motiviert werden, es entsprechend zu nutzen.

→02 zeigt ein Beispiel für einen Dialog zur Kennzeichnung von Chargen in ABB Ability™ BatchInsight mithilfe sogenannter Labels. Dieser kann problemlos um zusätzliche Labelgruppen erweitert werden. Im Beispiel sind vier Gruppen zu sehen: BatchDuration (Chargendauer), Quality (Qualität), BatchOperation (Chargenbetrieb), Shift (Schicht) sowie individuelle Labels. Die aktuell ausgewählte Labelgruppe erscheint blau hervorgehoben, und die darin enthaltenen Labels werden darunter angezeigt. Der Label-Dialog kann von allen Stellen im Programm geöffnet werden, an denen Chargen angezeigt werden. Eine automatische Zuordnung von Labels über Skripte ist ebenfalls möglich. Die Labels sind später sehr hilfreich, wenn entschieden werden muss, welche Chargen zur Erstellung eines Modells verwendet werden sollen.

Mithilfe des Modell-Editors werden geeignete historische Chargendurchgänge für das Golden-Batch-Modell ausgewählt →03. Darüber hinaus können bekannte gute und schlechte Chargen zur Verifizierung verwendet werden, um die Qualität des Modells sicherzustellen.

Zeitnormierung der Chargen

ABB Ability™ BatchInsight enthält ein detailliertes Chargenmodell gemäß ISA-88, einer Norm für die chargenorientierte Prozesssteuerung. Das Modell umfasst Zeitangaben für den Beginn und das Ende jeder Charge und der einzelnen Phase. Da die Chargendauer von Charge zu Charge variiert, werden die Datensätze durch dynamische Zeitnormierung (Dynamic Time Warping, DTW) gestreckt oder gestaucht. So werden sie vergleichbar, ohne dass die dynamischen Eigenschaften der Daten verändert werden oder verloren gehen.

Alternativ kann die Ähnlichkeit zwischen Chargen berechnet werden, um einen Ähnlichkeitsindex zu generieren, der dann mit einem Referenzwert verglichen wird. Dies ermöglicht eine feinere und effizientere Analyse: Da eine Gruppe (oder ein „Cluster“) von Chargen die gleiche Art von Anomalien aufweisen kann, könnte die Diagnose nur für eine Teilmenge dieser Chargen durchgeführt werden. Idealerweise trennen solche Cluster gute und schlechte Chargen voneinander.

Dimensionsreduktion

Während durch das Clustering Chargen separiert werden können, die der (nominellen/fehlerfreien) Referenzcharge ähnlich sind, erfordert die Diagnose fehlerhafter Chargen weitere Einsichten. Daher werden die Gründe für das schlechte Abschneiden einer Charge mithilfe einer MPCA (Multiway Principal Component Analysis) [3] analysiert. Untersucht werden dabei die Prozessvariablen, die die erkannte Abweichung statistisch erklären. Eine Online-Implementierung dieses Verfahrens ermöglicht ein frühzeitiges Erkennen einer anomalen Entwicklung einer laufenden Charge.

Abschätzung der Chargenqualität

Ein Hauptziel beim Chargenbetrieb besteht darin, die gewünschte Produktqualität sicherzustellen. Zurzeit werden dazu üblicherweise Proben einer Charge entnommen und im Labor analysiert. Ausgehend von den Analyseergebnissen passt der Anlagenfahrer dann die Prozessvariablen und die Prozessdauer entsprechend an.

Die PLS-Regression (Partial Least Squares) ist eine lineare Methode zur Dimensionsreduktion, die die statistische Analyse von stark korrelierten, großen multivariaten Datensätzen ermöglicht. Die Qualitätsüberwachung des Chargenprozesses basiert auf einer Variante von PLS namens MPLS (Multiway Partial Least Squares).

Ein MPLS-Modell ist ein Regressionsmodell, das den Zusammenhang zwischen der Chargenqualität und den Prozessvariablen modelliert. Damit fungiert es als inferenzieller (Soft-)Sensor, der in der Lage ist, ein wichtiges Problem in der Prozessindustrie zu bewältigen: den Mangel an zuverlässigen, hochwertigen Online-Messungen. Darüber hinaus lassen sich mithilfe von MPLS Messungen mehrere Stunden, bevor sie im Labor zur Verfügung stehen, vorhersagen, was in einigen Fällen die Wartezeiten verkürzt und damit eine bessere Anlagennutzung ermöglichen kann.

Detaillierte Diagnose

Sobald ABB Ability™ BatchInsight eine erhebliche Abweichung vom Golden-Batch-Modell erkennt, wird dem Bedienpersonal angezeigt, wo die Unterschiede liegen →04. Im Vergleich zu einer univariaten Analyse können bei multivariaten Analyseverfahren Zusammenhänge zwischen Variablen berücksichtigt werden.

Dank ABB Ability™ BatchInsight können abweichende Chargen dynamisch korrigiert werden.

Unterstützung für Experten

Chargenprozesse können auch für Experten komplex sein: Es muss zwischen guten und schlechten Chargen entschieden werden, statistisch relevante Prozessvariablen müssen identifiziert werden, und schließlich ist eine Feinabstimmung erforderlich. Daher enthält ABB Ability™ BatchInsight neuartige Verfahren, die die Vorbereitung der Prozessanalyse unterstützen – einschließlich der automatischen



05

Identifizierung von relevanten Variablen für die verschiedenen Phasen des Chargenprozesses und automatischen Vorschlägen zur Auswahl von Chargen für die MPCA- und MPLS-Modelle. Diese Verfahren liefern Empfehlungen und bieten Experten die Möglichkeit, sich mithilfe der Analysen von ABB Ability™ BatchInsight auf die Untersuchung der Kernprobleme zu konzentrieren →05.

Online-Chargenüberwachung

Dank der Online-Algorithmen von ABB Ability™ BatchInsight können Chargen, die sich in eine ungünstige Richtung entwickeln, dynamisch korrigiert werden. Dabei können wichtige Prozessvariablen in einem von vorherigen „Golden Batches“ abgeleiteten Korridor angezeigt werden →06. Außerdem können statistische Leistungskennzahlen, die im Rahmen der multivariaten Analyse errechnet werden, zur Generierung von Alarmen verwendet werden. Eine besondere Herausforderung bei der Online-Überwachung ist, dass es häufig nicht klar ist, wie weit der Prozess bereits fortgeschritten ist.



—
05 Da ABB Ability™ BatchInsight einen Großteil der Prozessanalysearbeit übernimmt, können sich die Experten auf die Kernprobleme konzentrieren.

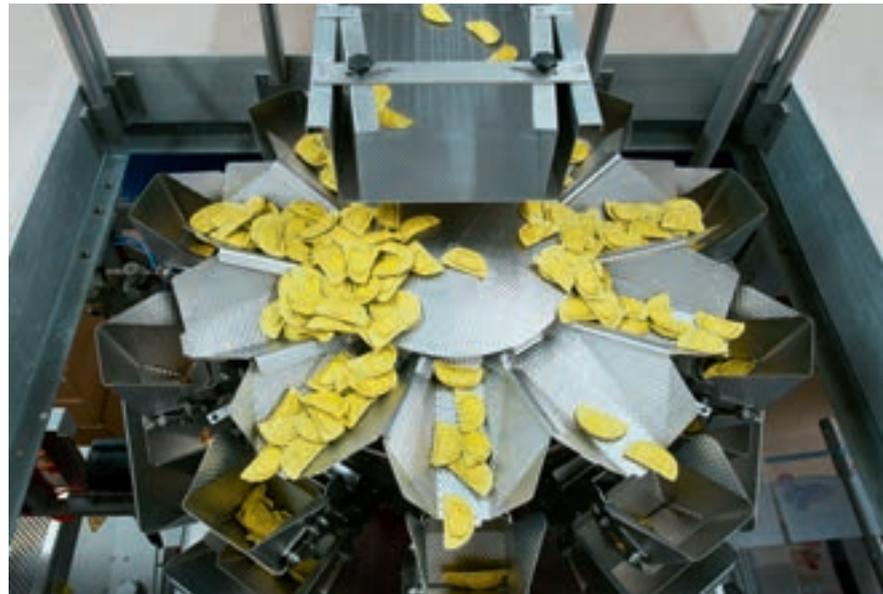
—
06 ABB Ability™ BatchInsight verbessert den Prozess durch die dynamische Korrektur von Chargen, die sich aus dem gewünschten Prozessfenster bewegen.

—
Literaturhinweise

[1] W. Otten: „Industrie 4.0 und Digitalisierung,“ *atp Magazin*, Bd. 58, Nr. 1–2 (2017), S. 28–32.

[2] I. Nimmo: „Operator effectiveness and the human side of error,“ *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2015.

[3] M. Atzmueller et al.: „Big data analytics for proactive industrial decision support,“ *atp Magazin*, Bd. 58, Nr. 9 (2016), S. 62–74.



06

—
In 83 % der Fälle konnte das System eine Schaumbildung mindestens 5 min von dem Auftreten vorhersagen.

—
Feedback vom Anwendungspartner

Das System wurde in Zusammenarbeit mit einem Anwendungspartner mithilfe historischer Chargendaten einer Chemieanlage getestet, wobei ein Online-Ansatz emuliert wurde (d. h. Daten für die aktuelle Charge standen nur bis zum aktuellen Prozessschritt zur Verfügung). Mithilfe des MPCA-Modells sollte ein Schaumbildungsproblem erkannt werden, das bei einigen Chargen auftrat. Das Modell wurde ausschließlich mit Chargen ohne Schaumbildung trainiert. In 83 % der Fälle war das System in der Lage, eine Schaumbildung mindestens 5 min von dem eigentlichen Auftreten – häufig auch schon Stunden davor – vorherzusagen. Obwohl ein Schäumen in 17 % der Fälle falsch vorhergesagt wurde, sind die Vorhersagen

dennoch sehr hilfreich, da sie den Anlagenfahrer auf verdächtige Chargen hinweisen.

—
Die Charge auf Kurs halten

Der in enger Zusammenarbeit mit einem Anwendungspartner entwickelte und validierte ABB Ability™ BatchInsight Online-Bedienerassistent ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Prozessanomalien sowie die Identifizierung der zur Erklärung der Anomalien erforderlichen Prozessvariablen. Nicht selten sind Anlagenfahrer für mehrere Chargen auf parallelen Produktionslinien verantwortlich und haben noch andere Aufgaben innerhalb der Anlage zu erfüllen. Hier bietet ABB Ability™ BatchInsight ein willkommenes Tool, das Anlagenfahrer frühzeitig warnt und ihnen die Möglichkeit bietet, durch Anpassung der richtigen Prozessvariablen rechtzeitig auf anormale Situationen – wie etwa Schaumbildung – zu reagieren. Ein solches rechtzeitiges Eingreifen hilft, Ausschuss zu reduzieren, den Energiebedarf zu senken und unnötige Produktionszeit zu vermeiden. •

MASCHINEN MIT INTELLIGENZ

Technologie für Menschen

Technologie, Konnektivität und Datenverarbeitung entwickeln sich mit rasender Geschwindigkeit und eröffnen immer wieder neue Möglichkeiten. Doch leistungsfähige Technik allein ist nicht alles. Die bahnbrechendsten Entwicklungen sind nicht viel wert, wenn Menschen ihr Potenzial nicht nutzen können. Bei ABB sind die Aspekte User Experience (UX) und Customer Experience (CX) ein integraler Bestandteil des Designzyklus.





01



Marjukka Mäkelä
UX Design
ABB Digital
Helsinki, Finnland

marjukka.makela@fi.abb.com

Computer sollen eine Erweiterung des menschlichen Gehirns sein. Die Übertragung von Gedanken, Informationen und Befehlen muss so nahtlos erfolgen wie möglich. Mit anderen Worten, eine Schnittstelle muss intuitiv und natürlich nutzbar sein. Nutzer sollten mit möglichst geringem Lernaufwand auf neue Werkzeuge und Funktionen zugreifen und diese beherrschen können.

In den vergangenen Jahren hat ABB die Zahl von UX-Experten in allen Bereichen des Unternehmen erhöht, um die Designprozesse von digitalen Produkten zu unterstützen und zu revolutionieren.

Gutes UX-Design ist nicht nur eine Methode oder Disziplin, sondern auch eine Denkweise. Besonders wichtig hierbei ist die sogenannte Outside-in-Perspektive, d. h. der Entwickler betrachtet die Anforderungen aus der Sicht des Kunden. Dieser Ansatz wird häufig auch als „Design Thinking“ [1] bezeichnet und umfasst eine ganzheitliche, hoch kreative und iterative Methodik →01.

ABB verbindet Expertise auf dem Gebiet der menschenzentrierten Gestaltung (Human-Centered Design, HCD) mit fundiertem Wissen über die von ihr belieferten Branchen, um die Möglichkeiten der Automatisierung voranzutreiben und eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten – Bereiche, die für eine hohe Kundeneffektivität und -profitabilität in einer digital transformierten Landschaft von entscheidender Bedeutung sind.

Die Qualität der UX gilt gemeinhin als Wettbewerbsvorteil und wird sich weiter zu einer funktionsübergreifenden Disziplin entwickeln. So kündigte Google im Jahr 2020 an, UX als

Wichtig ist dabei die **Outside-in-Perspektive, d. h. der Entwickler betrachtet die Anforderungen aus Kundensicht.**

wichtigen Ranking-Faktor¹ für alle Websites einzuführen [2], und laut einem Bericht von LinkedIn gehört UX-Design zu den fünf gefragtesten Kompetenzen.

Ein Schwerpunkt bei der Entwicklung zukünftiger Produkte und Services ist also die Gestaltung sinnvoller Funktionen und nutzerfreundlicher Schnittstellen – mit anderen Worten, es geht darum, Technologien für Menschen zu schaffen. Dies gilt auch für die Technologien, die ABB für Kunden und Nutzer bereitstellt.

In zukünftigen Ausgaben der ABB Review werden verschiedene Aspekte der UX-Philosophie von ABB näher beleuchtet. •

01 Menschzentrierte Gestaltung ist ein ISO-genormter Prozess für eine hochgradig kollaborative, ganzheitliche und iterative Arbeitsweise, bei der der Kunde stets im Fokus steht und fachübergreifende Kompetenzen zu Anwendung kommen.

Literaturhinweise

[1] Brown, T. (2011): „Change by Design“. *Journal of Product Innovation Management*, 28(3), S. 381–383.

[2] „Evaluating page experience for a better web“. <http://developers.google.com/search/blog/2020/05/evaluating-page-experience> (abgerufen am 09.03.2021).

Weiterführende Literatur

U. Johansson Sköldb-berg, J. Woodilla (2013): „Design Thinking: Past, Present and Possible Futures“. *Creativity and Innovation Management*, 22(2), S. 121–146. <https://doi.org/10.1111/caim.12023>

J. Kolko (2015): „Design Thinking Comes of Age“. *Harvard Business Review* (September).

Fußnote

1) Ein Ranking-Faktor beschreibt die Kriterien, die von einer Suchmaschine bei der Evaluierung von Webseiten angewandt werden, um die Reihenfolge der Suchergebnisse zu ermitteln.

Sensoren und Analytik





Ein altes Sprichwort besagt, dass man in jedem Problem einen Nagel sieht, wenn man als Werkzeug nur einen Hammer hat. Die Analyse- und Vorhersagefähigkeiten der digitalen Werkzeuge von heute werden mit der Menge der verfügbaren Daten nicht nur besser, sie benötigen sie auch, um genauer und vielfältiger zu sein. ABB arbeitet zusammen mit Kunden daran, etwas mehr als nur Hämmer anzubieten.

40
46

Sensoren liefern tiefe Einblicke
Fortschrittliche digitale Services für
Gasanalysatoren

SENSOREN UND ANALYTIK

Sensoren liefern tiefe Einblicke

ABB Ability™ Smart Sensors und Remote-Monitoring-Systeme erhöhen die Sicherheit, verlängern die Lebensdauer von Anlagen und reduzieren Ausfallzeiten erheblich oder gar vollständig. Darüber hinaus ebnen sie den Weg zur Fabrik der Zukunft – ein Konzept, bei dem Daten von Anlagenkomponenten wie Motoren, Stehlagern, Getrieben, drehzahlgeregelten Antrieben und Pumpen erfasst, verarbeitet und aus der Ferne abgerufen und analysiert werden können, um tiefe Einblicke in den Zustand ganzer Prozesse zu ermöglichen.

01



—
01 IoT-basierte drahtlose Sensoren ermöglichen eine permanente Überwachung einer Vielzahl von Geräten und Prozessen.

—
02 Der ABB Ability™ Smart Sensor für mechanische Produkte.

—
03 Der Smart Sensor von ABB bietet Unternehmen die Möglichkeit, vom IoT zu profitieren.

Kleiner, smarter, sicherer – das sind einige der Attribute, die die Entwicklung von Sensoren in den vergangenen zehn Jahren beschreiben. In jüngerer Zeit haben insbesondere drei Entwicklungen den Mehrwert von Sensoren weiter gestärkt: die Verfügbarkeit von Cloud-Computing, Datenanalysen und mobiler Datenübertragung [1]. Sie haben den Weg für die Entwicklung von IoT-basierten drahtlosen Sensoren geebnet, die eine permanente Überwachung einer Vielzahl von Geräten und Prozessen zu einem Bruchteil der Kosten traditioneller Zustandsüberwachungssysteme ermöglichen →01.



Artur Rdzanek
Sensored Products,
ABB Dodge® Power
Transmission
Greenville, SC, USA

artur.rdzanek@
us.abb.com

—
Die digitale Sensorik liefert kontinuierliche, konsistente und hochwertige Informationen für einen zuverlässigen Betrieb.

Tatsächlich bietet die Zustandsüberwachung auf der Basis von intelligenten Sensoren (sogenannten Smart Sensors) Nutzern die erforderlichen Werkzeuge, um ihre Ausrüstung über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu überwachen und die Reaktion der einzelnen Komponenten auf die jeweiligen kundenspezifischen Bedingungen und Prozesse zu erfassen. So können z. B. Wartungsintervalle, Lebenserwartungen und Austauschpläne verfolgt, quantifiziert und letztendlich vorhergesagt werden.

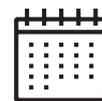
Die digitale Sensorik liefert kontinuierliche, konsistente und hochwertige Informationen, die einen zuverlässigen, optimierten Betrieb unterstützen. Gleichzeitig ermöglicht sie die Erkennung von Abweichungen gegenüber Vorgaben und somit eine Qualitätsüberwachung in Echtzeit. Damit stellt die digitale Sensorik einen Quantensprung gegenüber traditionellen Messmethoden dar, bei denen einzelne Punktsensoren zur Datenerfassung angebracht werden müssen, lange Zeitspannen zwischen den Messungen erforderlich sind und das Wartungspersonal potenziellen Sicherheitsrisiken ausgesetzt ist.



02



Bis zu
70 %
reduzierte
Stillstandzeiten



30 %
verlängerte
Motorlebensdauer



Bis zu
10 %
weniger
Energieverbrauch

03

Geburt eines smarten Sensors

Eine Lösung, die alle diese Fähigkeiten in einem Gerät kombiniert, ist der ABB Ability™ Smart Sensor für mechanische Produkte →02. Er überwacht den Gesamtzustand eines Geräts und sagt dem Nutzer, ob Wartungsmaßnahmen erforderlich sind. Dabei warnt der Sensor den Nutzer rechtzeitig, damit dieser entsprechende Wartungsmaßnahmen planen kann, bevor Probleme auftreten, wodurch Ausfallzeiten verhindert werden →03.

EINSATZ AUF EINEM HISTORISCHEN CAMPUS



04a

Auch an der University of Virginia in Charlottesville (USA) haben sich die Smart Sensors von ABB bereits bewährt →04a [3]. Als die Universität wegen der Covid-19-Pandemie im Frühjahr 2020 geschlossen werden musste, halfen über 65 ABB Ability™ Smart Sensors für mechanische Produkte dem verantwortlichen Wartungsteam dabei, die Stabilität und den Betrieb kritischer Laborumgebungen und Anlagen in der McCormick-Zone aufrechtzuerhalten. Da es stets über Probleme informiert wurde, ohne physisch anwesend zu sein, konnte das Team sicher und gezielt arbeiten.

Das Wartungsteam ist verantwortlich dafür, dass Studierende und Mitarbeiter in etwa zehn Gebäuden angenehme Temperaturen vorfinden und in allen Labors der Zone stabile Bedingungen herrschen. Bisher mussten im Rahmen der Wartung nahezu täglich Arbeiten an Lüftungsanlagen durchgeführt werden, die größtenteils nur mit Systemabschaltungen möglich sind →04b.

Ende 2019 erfuhr das Team von den ABB Ability™ Smart Sensors für mechanische Produkte und beschloss, einige Sensoren an Lagern zu testen. Die Sensoren, die sofort Echtzeit-Informationen über den Zustand der Ausrüstung lieferten, arbeiteten so effizient, dass schon bald weitere Lager in Lüftungsanlagen mit Sensoren ausgestattet wurden. Dies wiederum führte zur Entdeckung unerkannter Probleme in Geräten,



04b

bei denen vorher keinerlei Wartung oder Austausch erforderlich schien. Nach jeder Reparatur wurden die Sensordaten verglichen, um festzustellen, dass die Reparaturen korrekt durchgeführt wurden. Dank der Qualität der Informationen ist die Wartungsplanung und Ersatzteilhaltung erheblich vorhersehbarer geworden. Das Team weiß jetzt genau, welche Komponenten wann Aufmerksamkeit benötigen, anstatt sich auf einen vorgegebenen Wartungsplan zu verlassen, was die Ausfallzeiten minimiert.

—
04 An der University of Virginia sorgen über 65 ABB Ability™ Smart Sensors für mechanische Produkte für stabile Laborbedingungen und einen zuverlässigen Betrieb wichtiger Anlagen.

04a Die University of Virginia wurde 1819 gegründet.

04b Ein Smart Sensor in einer HLK-Anwendung, wie sie auch an der University of Virginia zum Einsatz kommt.

—
05 Das neue Plug-&-Play-Gateway von ABB ermöglicht Kunden eine nahtlose Verbindung zu ABB Ability™ Smart Sensors an entlegenen Standorten über Mobilfunkanbieter wie AT&T und Verizon.

Dank der Fähigkeit des Sensors zur Fernüberwachung können Wartungsteams den Gerätezustand sicher überprüfen, ohne dass ein physischer Kontakt erforderlich ist – ein entscheidendes Merkmal, da keine Sicherheitsvorrichtungen entfernt werden müssen, um für die Routinewartung an die Ausrüstung zu gelangen.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass sich das Wartungspersonal mithilfe der Sensordaten gezielt um die Geräte kümmern kann, die tatsächlich Aufmerksamkeit erfordern, anstatt jede einzelne Maschine zu inspizieren, um zu sehen, ob bestimmte Vibrationen oder Temperaturen vorliegen, die auf mögliche Probleme schließen lassen. Statt Experten hinzuziehen zu müssen, liefert der Smart Sensor dem Wartungspersonal die erforderlichen Daten, um Entscheidungen zu treffen und Ausfälle zu verhindern →04.

Drahtlose Optionen

Die Häufigkeit der Datenerfassung kann je nach Dynamik des betreffenden Prozesses individuell festgelegt werden – z. B. alle 15 Minuten oder einmal in 12 Stunden. Darüber hinaus stehen Technikern mehrere drahtlose Möglichkeiten zur Verfügung, um auf die erfassten Daten zuzugreifen und diese abzurufen: über das ABB-Gateway, über ein neues Plug-&-Play-Gateway →05, oder mithilfe einer Smartphone-App. So ist eine Zustandsüberwachung vor Ort oder aus der Ferne möglich.

Mit der ABB Ability™ Smart Sensor App →06. können Nutzer den Zustand ihrer Geräte

jederzeit prüfen. Eine zAmpeldarstellung mit roter, grüner und gelber Anzeige liefert dabei einen schnellen Überblick über den Zustand der überwachten Betriebsmittel.

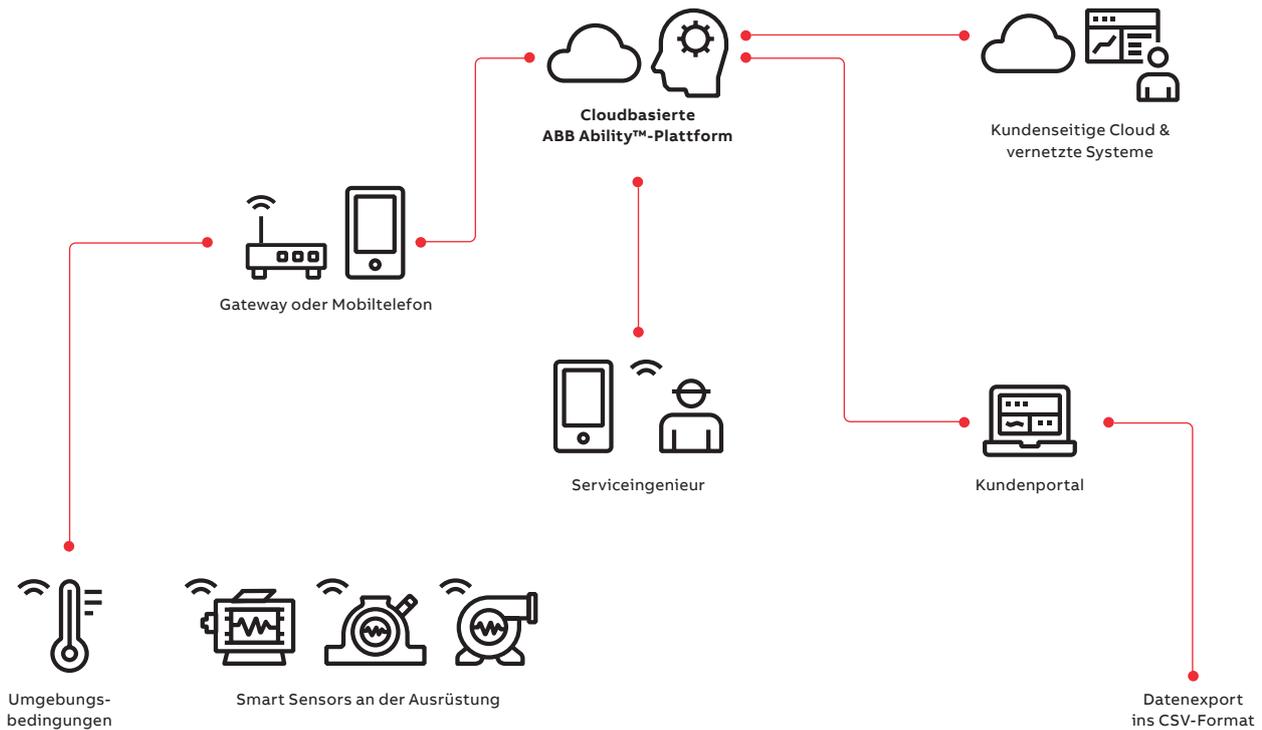
—
Mit der ABB Ability™ Smart Sensor App können Nutzer den Zustand ihrer Geräte jederzeit prüfen.

Fabrik der Zukunft

Die Zukunft der Fertigungsindustrie sind intelligente, vernetzte Fabriken. ABB Ability™ verbindet Nutzer mit den Möglichkeiten des Industriellen Internets der Dinge (IIoT), indem es die von Komponenten wie Motoren, Stehlagern, Getrieben, drehzahlgeregelten Antrieben und Pumpen erfassten Daten verarbeitet. Diese Daten können aus der Ferne abgerufen und analysiert werden und ermöglichen tiefe Einblicke in den Zustand des Gesamtprozesses.

So können die Daten z. B. an die Überwachungsplattform des ABB Ability™ Digital Powertrain übertragen werden. Hierbei handelt es sich um ein digitales Lösungsangebot von ABB mit Geräten, Software und Services, das Konnektivität und Datenanalysen miteinander verbindet, um effiziente, vorhersehbare und sichere Kundenprozesse zu ermöglichen.





06

Die Daten von mehreren Sensoren können per Smartphone oder Gateway an einen sicheren, cloudbasierten Server übertragen werden, wo sie von fortschrittlichen Algorithmen zur Erkennung von Fehlern analysiert werden. Die Daten werden

—
Die Sensordaten können per Smartphone oder Gateway an einen sicheren, cloudbasierten Server übertragen werden.

im digitalen ABB Ability™-Portal gespeichert, über das sie zur weiteren Analyse abgerufen und grafisch dargestellt werden können. Selbstverständlich ist bei sämtlichen Funktionen ein Höchstmaß an Cybersicherheit gewährleistet. Nutzer haben die Möglichkeit, eine persönliche Identifikationsnummer für jeden Sensor einzurichten, und die gesamte Kommunikation basiert auf neuesten TSL-Protokollen (Transport Layer Security). Die neue Plug-&-Play-Gatewaylösung bietet eine nahtlose Konnektivität von den Sensoren bis hin zum digitalen ABB Ability™-Portal.

Die ABB Ability™ Smart Sensors verwandeln herkömmliche Motoren, Pumpen, Stehlager und Getriebe in intelligente, drahtlos vernetzte Geräte. Sie messen Schlüsselparameter wie Vibrationen und Temperaturen an der Oberfläche von Komponenten, aus denen sich wertvolle Informationen über den Zustand und die Leistung der Komponente ableiten lassen. Dies wiederum ermöglicht die Erkennung von Ineffizienzen im System und die Reduzierung von Risiken im Hinblick auf den Betrieb und die Wartung →07.

Dank einer neuen Firmware können die Fähigkeiten des Smart Sensors um zusätzliche Funktionen – z. B. zur Darstellung der RMS-Geschwindigkeit, zum Ändern des Messintervalls, zum Ändern des Empfindlichkeitsbereichs für den Beschleunigungsmesser und zur Start/ Stopp-Erkennung – erweitert werden. Diese Erweiterungen wurden auf der Basis von Kundenrückmeldungen entwickelt. •

—
06 Die ABB-Zustandsüberwachungslösung für Motoren.

—
07 Dank der ABB Ability™ Smart Sensors ist GrainCorp in der Lage, die Lager in seinen Anlagen aktiv zu überwachen.

07a GrainCorp hat zusammen mit ABB und A1 Electric Motors eine kundenspezifische Lösung auf Basis der ABB Ability™ Smart-Sensor-Technologie entwickelt.

07b Die ABB Ability™ Smart-Sensor-Technologie warnt das Unternehmen bei Temperaturspitzen in Koehlerlagern.



07a

STEIGERUNG DER EFFIZIENZ BEI DER RAFFINATION VON ÖLSAAT

In Australien sorgen ABB Ability™ Smart Sensors in der Ölsaatindustrie für Effizienzsteigerungen und Einsparungen. GrainCorp Oilseeds →07a ist ein regionaler Produzent mit 20 Jahren Erfahrung in der Herstellung von Öl und Schrot aus Raps und anderen Pflanzensamen für den heimischen und internationalen Markt [4].

Aufgrund von Fluchtungsproblemen und damit verbundener Überhitzung der Lager am Kocher entschloss sich das Unternehmen, zusammen mit ABB und ihrem Channel-Partner A1 Electric Motors eine kundenspezifische Lösung auf Basis der ABB Ability™ Smart-Sensor-Technologie zu entwickeln. Das System umfasst Lagersensoren, Motorsensoren und ein Gateway und bietet GrainCorp die

Möglichkeit, den Zustand der Lager aktiv zu überwachen, um Ausfälle zu verhindern. Tatsächlich erwies sich die Implementierung als so erfolgreich, dass das Unternehmen beabsichtigt, die Sensoren in die ABB Ability™ Digital Powertrain Überwachungsplattform zu integrieren. Damit wäre A1 Electric Motors in der Lage, die Anlagen für GrainCorp aus der Ferne zu überwachen, was aufgrund des beschränkten Zugangs und der Tatsache, dass eine traditionelle Zustandsüberwachung nur zu bestimmten Zeiten möglich ist, besonders von Vorteil wäre. Durch die proaktive Überwachung der Lager und Motoren am Kocher und die fachkundige Unterstützung konnte die Prozesseffizienz deutlich gesteigert und die Möglichkeit eines Systemausfalls praktisch beseitigt werden →07b.

Literaturhinweise

[1] L. Eros: „Progress in Real-Time“. *World Cement*, May 2020. Verfügbar unter: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AK-K107680A6860&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

[2] L. Eros: „Powertrains And Predictions“. *World Coal*, September/October 2020. Verfügbar unter: www.worldcoal.com/magazine/world-coal/september-2020/.

[3] ABB: „University of Virginia maintenance team relies on ABB to keep campus running“. Article, 05.05.2020. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/61748/university-of-virginia-maintenance-team-relies-on-abb-to-keep-campus-running>.

[4] ABB: „Digital trends: Smart sensors in oil refineries“. Success story, 16.07.2020. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/65329/digital-trends-smart-sensors-in-oil-refineries>.



07b

SENSOREN UND ANALYTIK

Fortschrittliche digitale Services für Gasanalysatoren

Angesichts immer strengerer Umweltvorschriften müssen Emissionsüberwachungssysteme stets in einem einwandfreien Zustand sein. ABB Ability™ Digital Services für Gasanalysatoren unterstützen die vorbeugende Wartung und helfen bei der Umstellung auf eine vorausschauende Wartungsstrategie.



—
Vinay Kariwala
ABB Ability™
Innovation Centre,
Bangalore, Indien

vinay.kariwala@
in.abb.com

Chakravarthy Suhas
Daniele Angelosante
Ehemalige ABB-
Mitarbeiter

In vielen Ländern gelten immer strengere Vorschriften zur Luftreinhaltung, die kontinuierlich validierte Emissionsmessungen verlangen. Vielfach müssen NO_x, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Schwefeloxide, Salzsäure und Fluorwasserstoff rund um die Uhr überwacht werden, und häufig wird auch eine Überwachung

—
Die Services helfen bei der Umstellung von einer vorbeugenden auf eine vorausschauende Wartung.

von Staub, Quecksilber und Dioxinen verlangt. So ist es wenig überraschend, dass die Erfüllung dieser Vorschriften für Anlagenbetreiber mit hohen Kosten verbunden ist. In Europa müssen Messungen z. B. stündlich validiert werden. Bei drei Stunden ohne Messungen ist der gesamte Überwachungstag ungültig, und die jährliche Ausfallzeit bei der Überwachung darf 11 Tage nicht überschreiten (97,5 % Verfügbarkeit).

ABB Ability™ Digital Services für Gasanalysatoren

Während die Vorschriften immer strikter werden, nimmt die Analysekompetenz in Unternehmen immer weiter ab. Dies kann zu Verzögerungen bei

der Beseitigung von Problemen mit Emissionsgasanalysatoren führen und somit die Erfüllung der Emissionsvorschriften gefährden. Dieser Gefahr kann mit einem robusten Wartungskonzept entgegengewirkt werden.

Bislang unterlagen ABB-Gasanalysatoren meist einer vorbeugenden Wartungsstrategie, bei der periodische Inspektionen und Servicearbeiten durchgeführt werden, um Ausfälle zu reduzieren und die Lebensdauer der Ausrüstung zu verlängern →01. Diese Vorgehensweise garantiert die Verfügbarkeit der Ausrüstung, während das eigene Personal kein Spezialwissen über Analysatoren benötigt.

Nun können digitale Services für Gasanalysatoren dabei helfen, die Vorzüge einer vorbeugenden Wartung zu stärken und die Umstellung von einer vorbeugenden auf eine vorausschauende Wartungsstrategie unterstützen. Das Angebot der ABB Ability™-Lösungen umfasst die Services

- ABB Ability™ Remote Assistance für Messgeräte und
- ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte.

ABB Ability™ Remote Assistance für Messgeräte

Dieser Service ist darauf ausgelegt, die technische Unterstützung aus Kundensicht zu

verbessern. Der Service bietet autorisierten ABB-Serviceingenieuren die Möglichkeit, sich in ein industrietaugliches Gateway vor Ort einzuloggen – nachdem der Kunde Hilfe beim Callcenter angefordert hat – und sich mit dem zu untersuchenden Gerät zu verbinden, um alle für die Diagnose des Problems erforderlichen Daten zu erfassen. Anstatt den Kunden per Telefon durch die Gerätediagnose zu führen, kann der Ingenieur die Fehlersuche selbst durchführen. Der Kunde erhält per E-Mail oder Telefon einen Überblick über den Fortschritt und eine Lösung bzw. Lösungsempfehlung.

Das Remote-Assistance-Gateway ist darauf ausgelegt, strengste Cybersicherheitsanforderungen zu erfüllen. Böswillige Zugriffe werden durch die Definition von Gateway-Nutzungsregeln verhindert. Nur autorisiertes und geschultes ABB-Servicepersonal ist in der Lage, auf das Gateway und die Gerätedaten zuzugreifen – und das auch nur mit Zustimmung des Kunden. Der Zugriff auf das Gateway kann über ein 4G-Netz oder Ethernet erfolgen. Um die Cybersicherheit zu gewährleisten, gelten für diese Netze strenge Sicherheitsvorkehrungen wie etwa Firewall-Einschränkungen.

Zusammen mit Dynamic QR Code für Analysatoren – ein ABB-Serviceprodukt, das eine umfassende Diagnose und Echtzeit-Überprüfung des Funktionszustands (Health Check) von Analysensystemen ohne spezielle Schulung oder Remote-Verbindung ermöglicht [1] – stellt ABB Ability™ Remote Assistance für Messgeräte die erste Digitalisierungsstufe von Serviceprodukten für Analysatoren dar.

—
01 Eine vorbeugende Wartung wird häufig genutzt, um den einwandfreien Funktionszustand der hier gezeigten ABB-Gasanalysatoren sicherzustellen. ABB Ability™ Digital Services für Gasanalysatoren helfen dabei, die Wirksamkeit der vorbeugenden Wartung zu verbessern, und ermöglichen eine breitere Nutzung vorausschauender Wartungsstrategien.



ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte

ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte ist ein weiteres digitales Serviceprodukt, das auf die Bereitstellung von Zustandsdaten ausgelegt ist. Wie bei ABB Ability™ Remote Assistance für Messgeräte erfolgt die Bereitstellung über ein industrietaugliches Gateway. Das Gateway ist mit den Analysatoren vor Ort

—
Ein präventives Eingreifen ist besonders wichtig bei Gasanalysatoren, die eine kritische Rolle spielen.

verbunden und überwacht regelmäßig bestimmte Werte, die den Funktionszustand der Geräte widerspiegeln. Die erfassten Daten werden in einer Datenbank gespeichert und verarbeitet, um frühzeitige Anzeichen einer Leistungsminderung und deren mögliche Ursache aufzudecken. Die Daten und Erkenntnisse werden in Berichten (sogenannten Health Reports) zusammengefasst, die von ABB-Serviceingenieuren oder dem Kunden aufgerufen und per E-Mail an autorisierte Personen verschickt werden können →02.

Health Checks können in regelmäßigen Abständen (täglich, wöchentlich oder monatlich) durchgeführt werden, um Echtzeit-Messungen und Diagnosen zu erfassen. Die Spezialisten von ABB bewerten diese Parameter mithilfe etablierter Benchmarks und geben Serviceempfehlungen. Dies können z. B. spezifische Wartungsmaßnahmen sein, die notwendig sind, um unerwartete Stillstände aufgrund von übermäßigem Verschleiß kritischer Komponenten zu verhindern. So können Probleme bei einem geplanten Wartungsbesuch oder einer planmäßigen Anlagenabschaltung behoben werden, bevor es zu einem tatsächlichen Ausfall kommt.

Ein solches präventives Eingreifen ist besonders wichtig bei Gasanalysatoren, die eine kritische Rolle in der Prozessführung oder Emissionsüberwachung spielen. Gleiches gilt für Analysatoren an unzugänglichen Orten wie etwa in Schiffs-, Offshore- und Bergbauanwendungen.

Das oberste Ziel von ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte ist es, ungeplante Stillstände zu verhindern und die Gesamtbetriebskosten zu optimieren.



02

Standalone-Lösung

ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte kann auch als Standalone-Lösung vor Ort ohne Eingriff von ABB genutzt werden. Auch der Health Check Report kann vom Wartungspersonal des Kunden selbst analysiert werden. Dennoch kann sich der Kunde jederzeit an ABB wenden, um Wartungsstrategien zu erörtern. Dieser Ansatz eignet sich besonders für Eigenwarter, die die von ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte bereitgestellten Daten mithilfe hauseigener Experten selbst für die Wartung nutzen.

ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte ergänzt ABB Ability™ Remote Assistance für Messgeräte zu einem kompletten Remote-Service-Angebot mit direkter Verbindung zu ABB.

—
Die Lösung verfügt über ein Benutzermanagementsystem, das den ABB-Normen für Cybersicherheit entspricht.

Business Intelligence Engine

Das Herzstück von ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte ist eine Business Intelligence Engine, die die Daten von Analysatoren erfasst, analysiert und Angaben zum Zustand der Geräte liefert. Die Engine ist als Webservice implementiert, was eine einfache Berücksichtigung von Veränderungen in der Konfiguration der Ausrüstung ermöglicht. Noch mehr Flexibilität wird eine demnächst verfügbare cloudbasierte Version des Service bieten.

Die Lösung ist als Plattform konzipiert, die grundlegende Dienste wie Berichtsgenerator,

Datenanalyse-Engine usw. bereitstellt. Diese Architektur vereinfacht das Hinzufügen neuer Analysatoren. Die Datendefinitionen und die entsprechende Analysesoftware für ein bestimmtes Gerät befinden sich außerhalb der Plattform in sogenannten Verification Definition Files (VDF), was die Einführung neuer Analysatoren beschleunigt und die Pflege der Softwarekomponenten vereinfacht.

Datenbanksicherheit

Die Daten, die einen entscheidenden Teil der Lösung darstellen, werden in einer ABB-eigenen Datenbank gespeichert. Die Datenbank ist lose mit der übrigen Software gekoppelt, um die Sicherheit der Daten und einen kontrollierten Zugriff zu gewährleisten. In der Datenbank werden die Analysatordaten zusammen mit einem Zeitstempel für jeden Datenpunkt gespeichert, um sicherzustellen, dass bei der Erstellung von Berichten der richtige Datensatz abgerufen wird.

Die Lösung verfügt über ein vollwertiges Benutzermanagementsystem, das den ABB-Normen für Cybersicherheit entspricht. Andere kritische Elemente der Cybersicherheit wie Systemhärtung, Datenverschlüsselung und sichere Datenübertragung werden ebenfalls berücksichtigt. Wichtige Datenpunkte werden verschlüsselt und gespeichert. Die komplette Lösung einschließlich der Hardware wird im Device Security Assurance Center von ABB getestet.

Mehr als Gasanalysatoren

ABB Ability™ Remote Assistance für Messgeräte und ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte unterstützen zurzeit die kontinuierlichen Gasanalysatoren von ABB. Die Unterstützung weiterer Produktlinien einschließlich Gaschromatographen und Spektrometern befindet sich in der Entwicklung. Vorgesehen ist, die beiden digitalen Services um erweiterte digitale Services von ABB wie Datenanalysen und vorausschauende Wartung zu ergänzen.

Eine bessere Sicht auf die Dinge

Zur Ergänzung ihres Serviceportfolios und zur Verbesserung des Nutzererlebnisses nutzt ABB neue Technologien wie erweiterte Realität (Augmented Reality, AR), um reale Bilder durch Überlagerung mit virtuellen Daten zu ergänzen. ABB Ability™ Remote Insights for Service ist z. B. eine kollaborative App, die die Interaktion zwischen anlagenfernen Experten und dem Personal vor Ort verbessert, indem sie die Überlagerung von Livebildern mit Anweisungen und Hinweisen in Echtzeit mithilfe von AR ermöglicht.

Die Fehlerbehebung bei industriellen Geräten erfolgt primär auf der Grundlage von Erfahrung und mithilfe von Offline-Handbüchern. Letztere

—
02 Dashboard für die Zustandsüberwachung (Condition Monitoring).

—
03 AR-Sicht des Ingenieurs.

—
04 ABB bietet flexible Möglichkeiten zur Unterstützung des Kunden durch einen Experten aus der Ferne.

—
Literaturhinweis
[1] D. Lincoln et al.: „Schnellerer Service durch Dynamic QR Code“. *ABB Review* 1/2018, S. 40–45.

haben den Nachteil, dass der Blick des Ingenieurs ständig zwischen dem Handbuch und dem zu untersuchenden Gerät hin- und herwechseln muss. Um hier Abhilfe zu schaffen, wurden zwei AR-basierte Konzepte entwickelt: Beim ersten wird ein dreidimensionales CAD-Modell (Computer-Aided Design) des Geräts zusammen mit schrittweisen Anweisungen zur Fehlerbehebung per AR über das Bild des realen Geräts gelegt. Beim zweiten Konzept ist ein anlagenferner Experte per Videoanruf mit dem AR-Gerät des Serviceingenieurs vor Ort verbunden. So sieht der Experte genau das, was der Ingenieur vor Ort sieht, und kann ihn aus der Ferne anleiten →03–04. Der Experte hat zudem die Möglichkeit, das Bild des Serviceingenieurs mit handschriftlichen Anmerkungen zu versehen und ihm Informationen in Form von Bildern und Videos zu senden, um die Fehlerbeseitigung zu unterstützen. So kann der Experte seine Zeit optimal nutzen und deutlich mehr Standorte betreuen, als wenn er jedes Mal dorthin reisen müsste.

Ein Anwendungsbereich, in dem AR besondere Vorteile verspricht, ist die Reparatur von Emissionsüberwachungssystemen auf Schiffen. Zurzeit muss der Wartungsingenieur an Bord des Schiffs den ABB-Service anrufen, wenn es ein

Problem gibt. Kann das Problem nicht am Telefon behoben werden, wartet im nächsten Hafen ein ABB-Servicetechniker, oder er wird in besonders dringenden Fällen direkt zum Schiff geflogen. Mit AR hat der Wartungsingenieur die Möglichkeit, das Problem mithilfe von dreidimensionalen CAD-Modellen oder einem Experten, der wie oben beschrieben mit dem AR-Gerät des Ingenieurs verbunden ist, selbst zu beheben.

—
Die Produkte ermöglichen ein schnelles und wirksames Eingreifen durch ABB-Experten.

Expertise und Technologie

Angesichts immer strengerer Emissionsvorschriften, steigenden Geldbußen für die Nichteinhaltung und schwindender interner Analysekompetenz ist es wichtig, dass Unternehmen auf die bestmögliche externe Expertise und Technologie zurückgreifen, um ein einwandfreies Funktionieren ihrer Gasanalyseausrüstung sicherzustellen. ABB Ability™ Remote Assistance für Messgeräte und ABB Ability™ Condition Monitoring für Messgeräte sind zwei neue digitale Services für Gasanalysatoren, die genau dies bieten. Die beiden Produkte helfen dabei, regelmäßige vorbeugende Inspektionen zu optimieren, und ebnen den Weg zu einer vorausschauenden – und einfacheren – Wartung. Die Produkte ermöglichen ein schnelles und wirksames Eingreifen durch ABB-Experten aus der Ferne und sorgen so für eine kompetente Unterstützung und eine beruhigende Gewissheit, wenn es darum geht, den einwandfreien Funktionszustand von Emissionsüberwachungssystemen sicherzustellen. •

03



04



Elektri- sche Energie





Elektrizität ist die wohl am meisten genutzte Energieform weltweit – und aktuelle Trends in Bereichen wie dem Verkehrswesen sorgen dafür, dass ihre Dominanz weiter zunimmt. ABB gehört seit über einem Jahrhundert zu den führenden Unternehmen auf dem Gebiet der Elektrifizierung und arbeitet ständig an neuen Lösungen, um die effiziente Nutzung elektrischer Energie voranzutreiben.

- 52 Virtuelles Hochspannungslabor
- 58 Ladetechnik für Pkw, öffentliche Verkehrsmittel und Häfen
- 62 Tmax XT: Leistungsschalter für eine digitale Ära
- 68 Eine neue Art der Verbindung in Schaltschränken
- 72 Blaskolben-Lasttrennschalter für SF₆-freie Anwendungen
- 78 Rogowski-Sensoren für die Lichtbogenerkennung



ELEKTRISCHE ENERGIE

Virtuelles Hochspannungslabor

Die Vorhersage des dielektrischen Verhaltens elektrischer Geräte mithilfe von elektrostatischen Feldberechnungen und physischen Laborversuchen kann zu ungenauen Ergebnissen führen. Das auf proprietärem Wissen basierende Simulationswerkzeug Virtual High-Voltage Lab (VHVLab) von ABB verbessert die Vorhersage der dielektrischen Festigkeit.

—
Andreas Blaszczyk
Thomas Christen
Patrik Kaufmann
 Ehemalige ABB-Mitarbeiter

Christoph Winkelmann
 ABB Corporate Research
 Baden-Dättwil, Schweiz

christoph.winkelmann@ch.abb.com

Pouria Homayonifar
 ABB Electrification
 Skien, Norwegen

pouria.homayonifar@no.abb.com

Atle Pedersen
 SINTEF Energy Research
 Trondheim, Norway

Die dielektrische Dimensionierung ist ein entscheidender Aspekt bei der Entwicklung von Mittel- und Hochspannungsgeräten wie Schaltanlagen, Kabelgarnituren und Transformatoren. Bei der Markteinführung eines neuen Geräts ist der Hersteller verpflichtet, das Produkt durch dielektrische Typprüfungen zu zertifizieren, deren Anforderungen in technischen Normen festgelegt sind. Eine solche Prüfung ist erfolgreich absolviert, wenn die elektrische Isolierung des Geräts der elektrischen Feldbelastung durch Wechselspannungen (AC) und Blitzstoßspannungen

—
VHVLab bietet eine Softwareumgebung zur Vorhersage der Ergebnisse von dielektrischen Prüfungen.

gen (LI) standhalten kann, ohne zu versagen. Die Vorhersage der Prüfergebnisse wird typischerweise durch elektrostatische Feldberechnungen unterstützt, die mit den kritischen Werten für die jeweiligen Werkstoffe (z. B. Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe) und die dazwischenliegenden Schnittstellen verglichen werden. Allerdings ist diese naheliegende Vorgehensweise in vielen Fällen unzureichend, da der Zusammenhang zwischen dielektrischem Versagen und der Feldstärke nicht ganz so einfach ist.

Das ABB-Simulationswerkzeug VHVLab bietet eine Softwareumgebung zur Vorhersage der Ergebnisse von dielektrischen Prüfungen und ist darauf ausgelegt, die Lücke zwischen numerischen Berechnungen und physischen Experimenten zu schließen →01–02. Die Vorhersagen

basieren auf der Kombination von komplexen 3-D-Feldberechnungen mit empirischem Wissen, das wiederum aus Versuchen und First-Principle-Simulationen von mikroskopischen Modellen gewonnen wurde. Diese Art von Software ist nicht kommerziell erhältlich, da die in VHVLab integrierten Simulationsverfahren auf Prüferfahrungen basieren, die von ABB in einem realen Hochspannungslabor gemacht wurden. Eine maßgeschneiderte Plattform dieser Art bietet entscheidende Vorteile gegenüber kommerzieller Simulationssoftware und ermöglicht schnellere Entwicklungszyklen. Die Entwicklung von VHVLab wird unterstützt durch die Forschungsarbeit akademischer Partner.

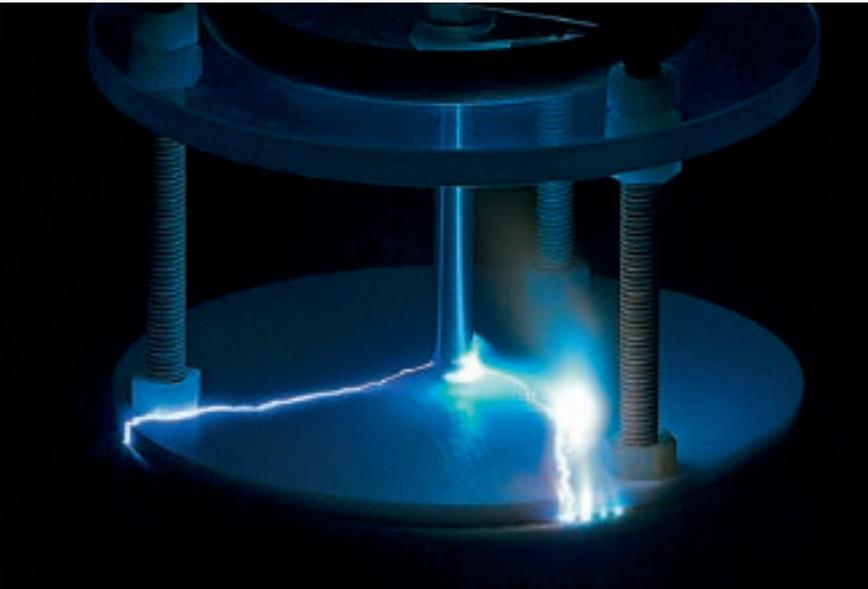
Im Folgenden soll die Architektur von VHVLab kurz beschrieben werden. Anschließend folgt eine Reihe von Fallbeispielen aus der Entwicklung eines ökoeffizienten Mittelspannungs-Lasttrennschalters [1]. Jedes Beispiel beschreibt einen anderen Simulationsvorgang zur Behandlung von Aspekten wie Streamerzündung, scharfe Kanten, Tripelpunkte und Oberflächenladung.

Architektur von VHVLab

Die für die Entladungsmodellierung zuständige Kernkomponente von VHVLab ist über vordefinierte Schnittstellen mit zwei externen Komponenten verbunden: dem Visualisierer und dem Löser für das Hintergrundfeld →03. Diese offene Struktur ermöglicht die Integration beliebiger externer Softwarekomponenten. Die bevorzugte Wahl ist in diesem Fall ein ABB-eigener BEM-Löser für elektrostatische Feldberechnungen mithilfe der Randelementmethode (BEM), der bei ABB seit den 1990er Jahren für dielektrische Simulationen verwendet wird [2], und eine individualisierte Implementierung von ParaView, einer bewährten, frei verfügbaren Software zur Visualisierung wissenschaftlicher Daten.

—
01 VHVLab ist ein neues Simulationswerkzeug von ABB, das dabei hilft, die Ergebnisse von dielektrischen Prüfungen vorherzusagen. Das Bild zeigt einen Teil des Prüflabors von SINTEF, einer unabhängigen Forschungsorganisation im norwegischen Trondheim, mit der ABB eng zusammenarbeitet.





02

Das VHVLab-Kernmodul ist als Java-Anwendung implementiert und beinhaltet eine grafische Bedienoberfläche, die den Nutzer durch die Evaluierung des Entladungsvorgangs führt. Der Arbeitsablauf ist wie folgt:

1. Laden der Lösung für das anfängliche Hintergrundfeld, die vor der VHVLab-Session berechnet wurde.
2. Spezifizieren der Oberflächenrauheit und der Gaseigenschaften (Druck, Temperatur, Gastyp, Gemischzusammensetzung usw.). Auf der Grundlage der angegebenen Daten wird die kritische Belastung, ab der es zu einer Entladung kommen kann, von VHVLab evaluiert.
3. Berechnen von kritischen Stellen, an denen eine Entladung zünden kann, und Auswählen von Punkten zur weiteren Evaluierung.
4. Spezifizieren der Parameter für die Berechnung der Zündung und der Entladungswege.
5. Starten und Überwachen der Berechnungen.

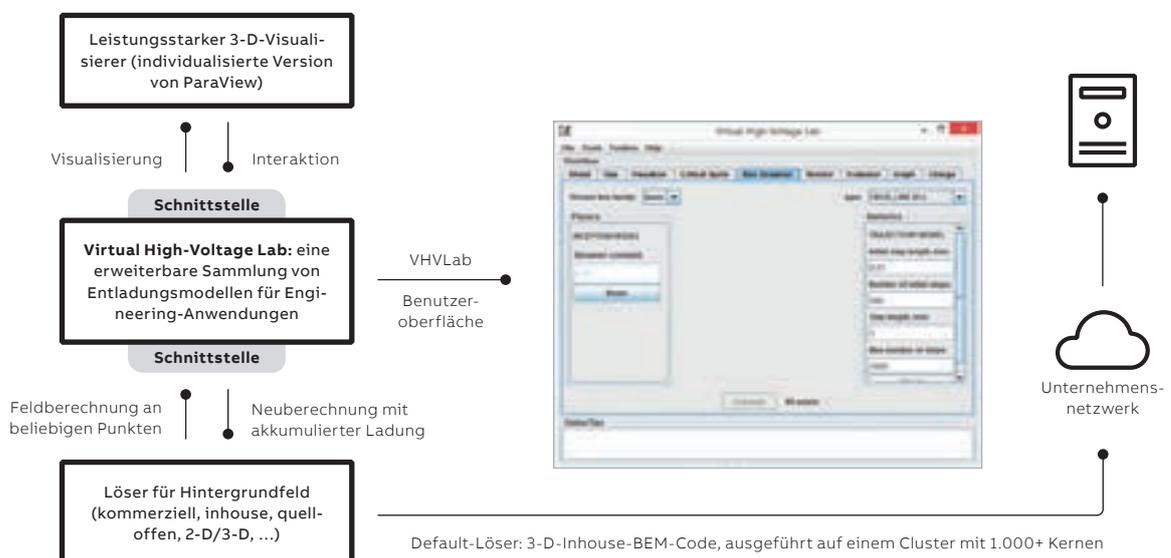
6. Evaluieren der Zündungsergebnisse für alle gewählten und berechneten Punkte.
7. Erstellen von Diagrammen mit den Feld-Charakteristiken entlang der berechneten Entladungswege.
8. Definieren von Randbedingungen für die Oberflächenladung und Berechnen des Hintergrundfelds mit der Oberflächenladung. Rückkehr zu Schritt 3, bis ein zufriedenstellendes Evaluierungsergebnis erreicht ist.

Die Ergebnisse sollen anhand der folgenden Fallbeispiele veranschaulicht werden.

Der Zündvorgang beginnt mit dem Auftreten des ersten freien Elektrons, das eine Townsend-Lawine auslöst.

Streamerzündung

Das Zünden einer Gasentladung in einem elektrischen Feld beginnt mit dem Auftreten des ersten freien Elektrons, das eine Townsend-Lawine auslöst. Bei Erreichen einer kritischen Elektronenzahl bildet sich ein sich selbst fortsetzender Streamerkopf. Dieses Kriterium der Streamerzündung ist abhängig vom effektiven Ionisationskoeffizienten, der feldabhängig ist und Mechanismen wie Stoßionisation, Elektronenanlagerung und -abtrennung berücksichtigt. Der Wert der Zündungsspannung wird iterativ berechnet, indem die angelegte Spannung verändert und die elektrischen Feldwerte entlang eines Entladungswegs skaliert werden, bis die Kriterien für die Zündung erfüllt sind.



03

—
02 Das dielektrische Verhalten ist ein entscheidender Aspekt bei elektrischen Geräten.

—
03 Architektur der VHVLab-Simulationsumgebung.

—
04 Evaluierung der Streamer-Zündungsspannung und Prüfergebnisse für den Trennschalter einer Ringkabelschaltanlage.

04a Elektrische Feldstärke bei 125 kV (L) und berechnete Feldlinien für kritische Stellen (hellere Farben/Punkte zeigen Bereiche mit einer höheren Wahrscheinlichkeit einer Entladung).

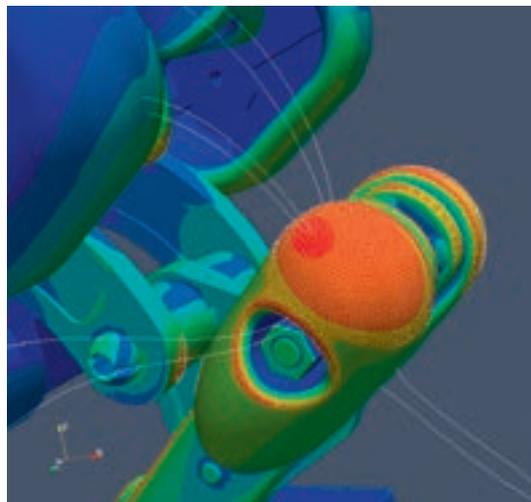
04b Spuren einer Entladung auf der Oberfläche einer Schaltmesserschirmung nach einer Blitzstoßspannungsprüfung.

Eine der ersten Anwendungen der in der VHVLab-Umgebung implementierten Streamer-Zündungsmodelle war die Entwicklung einer neuen luftisolierten 12-kV-Schaltanlage. Hier bestand die Hauptherausforderung darin, SF₆ durch Druckluft zu ersetzen, ohne die Größe der Schaltanlage und die Integrität der Isolierung zu verändern. Dies konnte nur mit intensiver Unterstützung durch Simulationen zur Formoptimierung bewältigt werden. Interessanterweise war das ermittelte Design bei Verwendung von AirPlus (ein von ABB angebotenes Luft-Fluor-Fluor-Gemisch) als Isoliergas auch in der Lage, die Anforderungen für 24-kV-Schaltanlagen zu erfüllen. Für beide Spannungsklassen konnte VHVLab eine Zündungsspannung vorhersagen, die die Anforderungen der Blitzstoßspannungsprüfungen erfüllte. →04 zeigt eine Evaluierung der Streamer-Zündungsspannung und die Prüfergebnisse für einen Trennschalter in einer Ringkabelschaltanlage. Eine Differenz zwischen der gemessenen Festigkeit und den simulierten Zündungsspannungen von etwa 10 % ist typisch für die Vorhersage von Ergebnissen von Blitzstoßspannungsprüfungen und wird von Ingenieuren als Sicherheitsmarge angenommen.

—
An scharfen Kanten und Tripelpunkten ist eine Elektronenemission am wahrscheinlichsten.

Scharfe Kanten

Feldstärkeerhöhungen an scharfen Kanten sind eine bekannte Ursache für nicht bestandene Blitzstoßspannungsprüfungen bei Mittelspannungs-Schaltanlagen. Jüngste Trends zur Reduzierung der Gerätegröße – und damit auch der kürzesten Strecken durch das Gas zwischen



04a

zwei unter Spannung stehenden Elektroden – verschärfen die Problematik. Im Rahmen eines Forschungsprojekts mit VHVLab untersuchte ABB, welchen Einfluss die Scharfkantigkeit von Elektroden auf die Stehspannung hat [3]. Eines der Ergebnisse zeigt einen klaren Zusammenhang zwischen dem Rundungsradius der Kanten und der experimentellen Spannungsfestigkeit, die mit zunehmender Schärfe der Kanten abnimmt →05.

Der Durchschlag ist ein stochastischer Prozess. Hier liefern mehrere Prüfungen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, aus der sich eine Spannung ermitteln lässt, bei der die Wahrscheinlichkeit eines Durchschlags 2 % oder 50 % beträgt. Außerdem hat sich gezeigt, dass die Simulation auf der Basis von Zündungskriterien gut mit den Experimenten übereinstimmt. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand der Aspekt kurzer Abstände, d. h. reduzierter Luftstrecken, wie sie bei kompakten Schaltanlagendesigns typisch sind. Bei größeren Luftstrecken spielt die Schärfe der Kanten keine Rolle.

→06 zeigt die Evaluierung scharfer Kanten mittels Simulation für einen kürzlich entwickelten SF₆-freien Lasttrennschalter. Die für die kritischen Punkte A und B berechneten Zündwerte liegen bei 75 kV bzw. 68 kV. Blitzstoßspannungsprüfungen dieser Designvariante mit 75 kV in Luft bestätigen dies: Es gibt keinen Durchschlag bei A, aber an den Punkten B kommt es zum Überschlag.

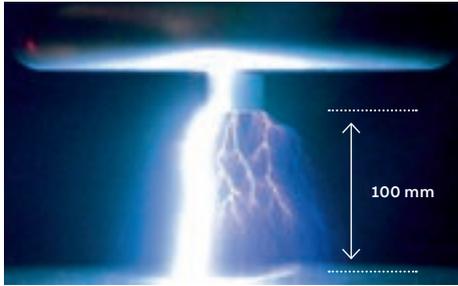
Tripelpunkte

Ein Tripelpunkt ist ein Punkt in einer Schaltanlage, an dem Metall, festes Dielektrikum und Gas zusammentreffen. Hier ist bei Präsenz eines starken elektrischen Felds eine Elektronenemission am wahrscheinlichsten. Ein Tripelpunkt ist außerdem ein bevorzugter Ausgangspunkt für einen Durch- oder Überschlag. Bei der Entwicklung der

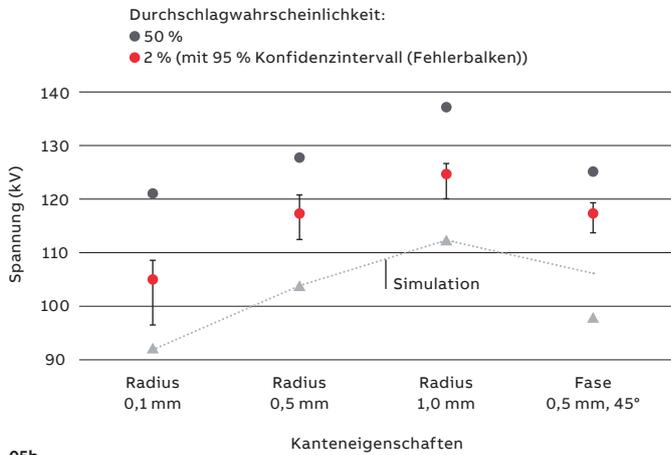
Spannung in kV	Luft	AirPlus
Messung	86,7	133,7
Simulation	77,8	120,0



04b



05a



05b

in →04, dargestellten 12-kV-Schaltanlage ergaben sich bei Wechselspannungsprüfungen Tripelpunkt-Probleme an der mechanischen Durchführung. Diese besteht aus einer isolierenden Welle, die den geerdeten Antrieb mechanisch mit dem rotierenden, unter Hochspannung stehenden Trennschalter verbindet →07a.

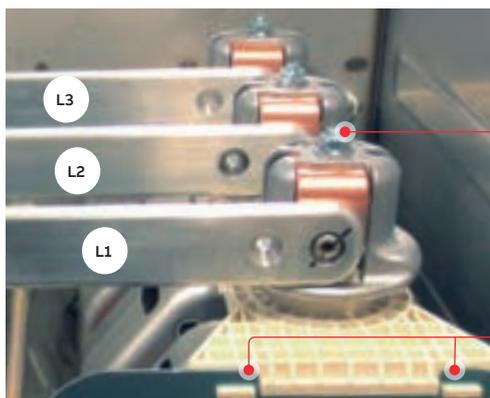
Um ABB bei der Untersuchung des dielektrischen Verhaltens eines solchen Systems zu unterstützen, bauten Forscher von SINTEF eine luftisolierte Versuchsanordnung, die eine flexible Wahl verschiedener Tripelpunkt-Konfigurationen ermöglicht [4] →07b. Ein Beispiel für ein experimentelles Ergebnis für eine bestimmte Form der um die isolierende Welle herum angeordneten geerdeten Elektrode zeigt →07c. Dargestellt ist der Zusammenhang zwischen der gemessenen Stehwechselfspannung (statistisch geschätzt als durchschnittliche Überschlagspannung reduziert um zwei Standardabweichungen) und dem Elektrodenabstand.

Die Zündung an Tripelpunkten zu simulieren, ist aufgrund der sehr speziellen Feldverteilung in dem engen Raum zwischen dem festen Dielektrikum und der Elektrode nicht einfach. Eine Evaluierung von Streamer-Zündungskriterien kann für verschiedene Entladungsweg-Varianten und unter Verwendung verschiedener Feldstärkenkomponenten zur Bestimmung von Ionisationskoeffizienten durchgeführt werden →07d. Auch wenn diese Art von Simulation die in Versuchen beobachteten Trends korrekt reproduzieren kann, unterscheiden sich die simulierten Zündungsspannungswerte von den gemessenen Werten. Gemäß den aktuellen VHVLab-Richtlinien können Ingenieure jede der vorgesehenen Evaluierungsvarianten wählen. Diese liefern eine konservative Vorhersage, wobei aber die Sicherheitsmarge nicht eindeutig definiert ist. Dies zeigt, dass Überschläge, die durch Tripelpunkte verursacht werden, eine weitere Untersuchung erfordern, die nicht nur auf Zündungsmodellen basiert, sondern auch andere Einflüsse wie Oberflächenladung, Polaritätsänderungen, Rauheit und Partikelein-schlüsse berücksichtigt.

Isolatoroberflächen und -ladung

Wechselwirkungen von Entladungen mit dielektrischen Oberflächen – z. B. elektrodenlose Streamerzündungen, Kriechentladungen und Oberflächenladungen – spielen für praktische Anwendungen eine bedeutende Rolle. In den letzten zehn Jahren hat ABB mit verschiedenen Hochschulpartnern in diesen Bereichen zusammengearbeitet [5,6].

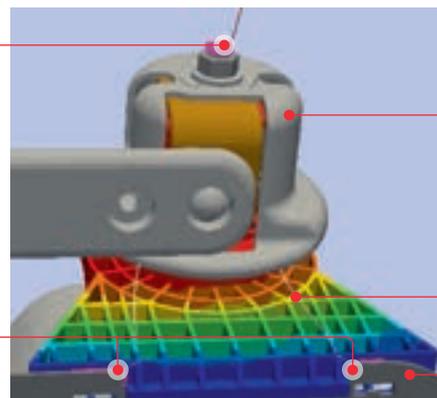
Ein Beispiel für eine solche Wechselwirkung ist die Sättigungsladung, die in VHVLab als Randbedingung bei der elektrostatischen Feldberechnung berücksichtigt wurde. Die Sättigungsladung entspricht hierbei der größtmöglichen Oberflächenladung, die sich durch eine Entladung auf einer dielektrischen Oberfläche ansammeln kann. Das Konzept und die Natur der Sättigungsladung – insbesondere ihre Fähigkeit, eine anschließende Streamerzündung



06a

Punkt A:
Kante der Schraube;
Zündwert = 75 kV

Punkte B:
Kanten der Stützplatte;
Zündwert = 68 kV



Aktive Elektrode

Länge des Entladungswegs = 60 mm

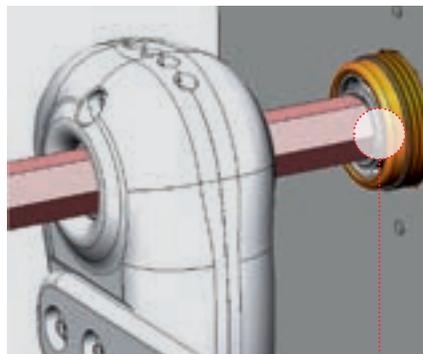
Geerdete Elektrode

06b

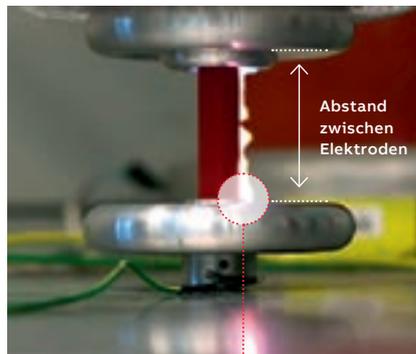
05 Ergebnisse von Versuchen und Simulationen an scharfen Kanten in atmosphärischer Luft [5].

05a Prüfanzordnung mit einem Durchschlag nach Anlegen einer positiven Blitzstoßspannung. Bei der beaufschlagten Elektrode handelt es sich um einen Zylinder mit einer abgerundeten oder abgeschrägten Kante.

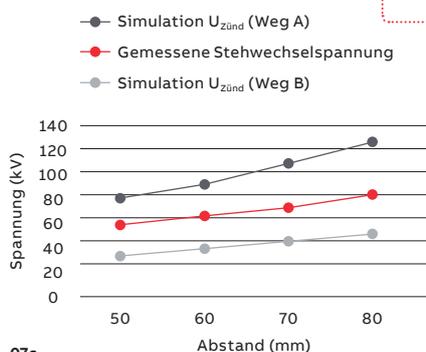
05b Vergleich zwischen gemessenen Durchschlag-/Stehspannungen und der simulierten Zündung.



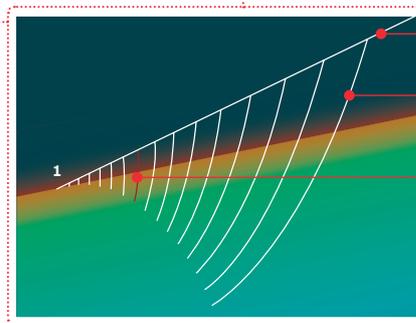
07a



07b



07c



07d

Weg B entlang des Isolators
Feldlinien ausgehend von der Elektrodenoberfläche
Weg A entlang der Feldlinie mit der niedrigsten Zündungsspannung (dunkle Linie)

06 Beispiele für die Evaluierung scharfer Kanten in einem Schottraum einer gasisolierten 12-kV-Schaltanlage (Luft, 1,3 bar).

06a Am Punkt A erfolgt kein Durchschlag, aber an den Punkten B kommt es zum Überschlag.

06b Um eine präzise Simulation zu gewährleisten, wurden die scharfen Kanten mit einem Radius von 0,1 mm abgerundet, was die Schärfe des Prüfstücks genau widerspiegelt.

07 Tripelpunkt-Analyse.

07a Sechskantige mechanische Durchführung in einer 12-kV-Schaltanlage mit einem kritischen Tripelpunkt auf der geerdeten Antriebsseite (rechts).

07b Momentaufnahme einer Entladung in der Versuchsanordnung bei SINTEF zur Messung von Wechselspannungsüberschlägen in atmosphärischer Luft.

07c Vergleich der experimentell ermittelten Stehwechselfspannung (Spitzenwert) mit zwei Varianten der simulierten Zündungsspannung ($U_{Zünd}$) in Abhängigkeit vom Elektrodenabstand. Hinweis: Die für den Pfad A evaluierten Werte für $U_{Zünd}$ müssen für eine sichere Vorhersage um einen empirischen Faktor von 0,5 reduziert werden.

07d 3-D-Farbdarstellung der elektrischen Feldstärke und zweier Entladungsweg-Varianten in der Nähe des Tripelpunkts „1“ mit dem maximalen Feldwert. Der Weg entlang des Isolators und alle Feldlinien befinden sich in einer Ebene senkrecht zu den Isolator- und Elektrodenoberflächen. Der Weg entlang des Isolators im 3-D-Modell verläuft senkrecht zur „Tripellinie“, die in der Darstellung durch hohe (rote) Belastungswerte gekennzeichnet ist.

zu unterdrücken und Überschläge bei Blitzstoßspannungsprüfungen zu verhindern – wurden durch Versuche und First-Principle-Simulationen bestätigt [6]. Eine in der VHVLab-Umgebung enthaltene Implementierung ermöglichte die Berechnung von Oberflächenladungseffekten in Geräten mit hochgradig komplexen 3-D-Geometrien auf eine einfache Weise. Interessant dabei ist, dass die Oberflächenladungsanalyse eine quantitative Erklärung dafür liefert, warum einige Geräte die Blitzstoßspannungsprüfung bestehen können, obwohl Berechnungen, die die Oberflächenladung vernachlässigen, einen Überschlag vorhersagen [7].

VHVLab – zukünftige Entwicklungen

VHVLab ist eine nützliche Simulationsumgebung für Mittelspannungs-Schaltanlagen, die auch von Nicht-Experten verwendet werden kann.

Sie ermöglicht die schnelle und strukturierte Erstellung von Designiterationen im Rahmen des Entwicklungsprozesses und reduziert die Abhängigkeit von Laboren und physischen Prüfvarianten. VHVLab ermöglicht zwar keine vollautomatische virtuelle Prüfung, bei der eine Entladung auf Knopfdruck simuliert und visualisiert werden kann, macht aber einen ersten Schritt in diese Richtung, indem es Ingenieuren eine Reihe von numerischen Verfahren und empirischen Regeln an die Hand gibt, die es ihnen ermöglichen, Entladungsphänomene zu evaluieren, zu visualisieren und zu verstehen. In dieser Hinsicht ist VHVLab nicht nur ein Engineering-Werkzeug, sondern auch eine Wissensdatenbank, in der die Erfahrungen von Forschern und Entwicklern gesammelt werden, um eine Grundlage für zukünftige digitale Prüfungen zu schaffen. •

Danksagung

Die Autoren danken den Kolleginnen und Kollegen von ABB Corporate Research, ABB Electrification Technology Centers, der TU München, der ETH Zürich, der TU Eindhoven, dem CWI Amsterdam, der Universität Tartu (Estland), der HSR Rapperswil (Schweiz) sowie der NTNU und SINTEF (beide in Trondheim) für ihre Beiträge zur Entwicklung von VHVLab.

Literaturhinweise

[1] E. Attar et al.: „Blaskolben-Lasttrennschalter für SF₆-freie Anwendungen“. *ABB Review*, 2/2021, S. 72–77.

[2] A. Blaszczyk et al.: „Vernetzung rechnet sich! Kostengünstiges Hochleistungsrechnen über das Intranet“. *ABB Review*, 1/2002, S. 35–42.

[3] P. Simka et al.: „Air breakdown at sharp edges“. *IEEE 2nd International Conference on Dielectrics (ICD)*. IEEEExplore, Budapest, 2018, S. 885–888.

[4] N. S. Stoa-Aanensen: „Initial testing of breakdown voltage, 50 Hz stresses on triple junction setup“. *Report AN 15.14.64, SINTEF*

Energy Research. Trondheim, 2015.

[5] A. Chvyreva et al.: „Raether-Meek criterion for prediction of electrodeless discharge inception on a dielectric surface in different gases“. *Journal of Physics D: Applied Physics* 51 (2018), S. 1–11.

[6] H. K. Meyer et al.: „Surface charging of dielectric barriers in short rod-plane air gaps. Experiments and simulations“. *IEEE Conference on High-voltage Engineering and Application, ICHVE 2018*, Griechenland.

[7] A. Blaszczyk et al.: „Surface Charging Models for Prediction of Withstand Voltage in Medium Voltage Range“. *Proceedings of 19th Conference on Electromagnetic Field Computations (CEFC)*, Pisa, November 2020.



ELEKTRISCHE ENERGIE

Ladetechnik für Pkw, öffentliche Verkehrsmittel und Häfen

—
Alessandro Di Nicco
ABB Electric Vehicle
Infrastructure
Terranuova Bracciolini,
Italien

alessandro.dinicco@
it.abb.com

Diego Pareschi
ABB Electric Vehicle
Infrastructure
Delft, Niederlande

diego.pareschi@
nl.abb.com

Kumail Rashid
ABB Electric Vehicle
Infrastructure,
Singapur

kumail.rashid@
sg.abb.com

Die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen in jeglicher Form boomt. Der Trend wird angetrieben vom Wunsch nach besserer Luftqualität, weniger Lärm, mehr Lebensqualität und – vor allem – vom Kampf gegen den Klimawandel.

Am deutlichsten zeigt sich dieser Trend im Individualverkehr. Laut dem Electric Vehicle Outlook 2020 von BloombergNEF wird die Zahl der jährlich verkauften Elektro-Pkw bis zum Jahr 2030 auf 26 Millionen Fahrzeuge steigen. Gleichzeitig geht man davon aus, dass Elektrobusse den Busverkehr bis zum Ende der 2020er Jahre vollständig dominieren werden [1,2].

Doch Pkw und Busse (und Lkw) sind nicht die einzigen Fahrzeuge, die zunehmend auf Elektroantrieb umgestellt werden. Elektrofahrzeuge (EV) eignen sich auch hervorragend für fahrerlose Transportanwendungen.

Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) bieten eine ganze Reihe von Vorteilen: Da kein Fahrer erforderlich ist, kann das Personal für produktivere Aufgaben eingesetzt werden. Zudem sind Leistung und Kosten vorhersehbar, und die Fahrzeuge sind rund um die Uhr einsetzbar. Und sie tragen zur Verbesserung der Sicherheit innerhalb ihrer Automatisierungsumgebung bei. Die vielen verschiedenen Elektrofahrzeuge, die auf den Markt strömen, benötigen entsprechende

Ladestationen – und hier kommt ABB ins Spiel. ABB verfügt über langjährige Erfahrung in der Entwicklung, Installation, Inbetriebnahme und

—
ABB ist bevorzugter Partner einiger der weltweit größten OEMs und Ladenetzbetreiber für E-Fahrzeuge.

Instandhaltung von Ladeinfrastrukturen. Tatsächlich ist ABB bevorzugter Partner einiger der weltweit größten Erstausrüster und Ladenetzbetreiber für Elektrofahrzeuge.

Diese Erfahrung hat mehrere große Unternehmen und öffentliche Einrichtungen dazu bewegt, bei der Realisierung der Ladeinfrastruktur für öffentliche Verkehrsmittel, Privatfahrzeuge und FTF auf ABB zu setzen – wie folgende drei Beispiele zeigen.

— Literaturhinweise

[1] BloombergNEF, *Electric vehicle outlook 2020*. Verfügbar unter: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-download> (abgerufen am 11.11.2020).

[2] Energypost.eu (28.05.2018): „EVs to make up third of market in 2040, e-buses to dominate end 2020s“. Verfügbar unter: <https://energypost.eu/evs-to-make-up-third-of-market-in-2040-e-buses-to-dominate-end-2020s/> (abgerufen am 11.11.2020).

MAILAND: FAHRKARTE IN EINE SAUBERERE ZUKUNFT

Norditaliens Industriemetropole mit über drei Millionen Einwohnern hat einen Fahrplan für eine umweltfreundliche Zukunft entwickelt. Bis zum Jahr 2030 will die Stadt alle ihre 1.200 Dieselsebusse gegen brandneue vollelektrische Busse austauschen.

—
01 Die neuen vollelektrischen Mailänder Busse können in fünf Stunden über Nacht an ABB-Ladestationen geladen werden. Die Stadt plant die Anschaffung von 1.200 Bussen dieser Art bis 2030.

Bis zum Jahr 2030 soll der komplette öffentliche Nahverkehr in Mailand einschließlich O-Bussen und U-Bahnen zu 100 % elektrisch sein. Nach der vollständigen Elektrifizierung der Busflotte erwartet das Mailänder Nahverkehrsunternehmen Azienda Trasporti Milanese (ATM), das 158 Buslinien mit einer Gesamtlänge von 1.550 km betreibt, eine Reduzierung des jährlichen Dieselseverbrauchs um 30 Millionen Liter und eine Senkung der CO₂-Emissionen um 75.000 Tonnen im Jahr.

Außerdem soll die gesamte Energie für die elektrischen Systeme garantiert aus zertifizierten erneuerbaren Quellen stammen und somit emissionsfrei sein. Die Initiative zum Austausch der Dieselsebusse gegen E-Busse – und zum Bau der erforderlichen Ladeinfrastruktur – ist das Ergebnis einer Verpflichtung der Stadt anlässlich des Pariser Klimagipfels und wird voraussichtlich über 1,5 Mrd. EUR kosten.

Zunächst sollen drei der fünf Busdepots in Ladehubs für E-Busse und Servicefahrzeuge umgewandelt werden. Dazu werden vier neue Depots gebaut. Einer der Hubs wird zusätzlich mit 100-kW-Ladestationen →01, modularen Trafostationen und Plug-in-Ladesäulen von ABB ausgestattet. Spezielle Algorithmen sorgen dabei für eine Optimierung des Ladevorgangs bei

gleichzeitiger Minimierung des Energiebedarfs. Erhebliche Energieeinsparungen werden außerdem von einem automatisierten und optimierten Parksystem für ankommende und abfahrende Busse erwartet.

Bis Ende 2021 sollen 165 vollelektrische Busse und acht Endhaltestellen mit 200-kW-Stromabnehmern in Betrieb sein, die in acht bis 10 Minuten 35 kWh Strom liefern können – mehr als genug, um bei jedem Wetter eine problemlose Rückfahrt ins Depot zu gewährleisten.

Die Busse selbst werden von NMC-Batterien (Nickel-Mangan-Cobalt) mit 240 kWh gespeist, die eine 180 km lange emissionsfreie Fahrt unter anspruchsvollsten Bedingungen ermöglichen. Die vollständige Aufladung erfolgt nachts im Depot binnen fünf Stunden.

Laut einem Bericht von McKinsey & Company [1] gehört Mailand in puncto Qualität der Mobilitätssysteme zu den führenden 10 Städten der Welt. Untersucht wurden die Verfügbarkeit, Erreichbarkeit, Effizienz, Bequemlichkeit und Nachhaltigkeit vor, während und nach der Fahrt in Verbindung mit Kundenmeinungen.

Literaturhinweis

[1] McKinsey & Company: „Elements of success: Urban transportation systems of 24 global cities“. Verfügbar unter: https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/Elements%20of%20success%20Urban%20transportation%20systems%20of%2024%20global%20cities/Urban-transportation-systems_e-versions.ashx



E-FAHRZEUGE ÜBERALL UND JEDERZEIT SCHNELL LADEN

Japan will seine Infrastruktur für E-Fahrzeuge modernisieren und den Übergang zu einer nachhaltigen Mobilität beschleunigen. Dazu soll der Anteil von Elektrofahrzeugen und Plug-in-Hybriden auf den Straßen bis 2030 von nur 1 % im Jahr 2018 auf 20 bis 30 % erhöht werden [2].

— 02 Die Ladestationen vom Typ Terra 184 sind vielseitig konfigurierbar und können mit Kreditkartenterminals, Bildschirmen und Kabelmanagementsystemen ausgestattet werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, setzt e-Mobility Power Co., Inc. (eMP), ein Joint-Venture von Tokyo Electric Power Company Holdings (TEPCO) und Chubu Electric Power – zwei der größten Energieversorger Japans – auf die neuen Terra 184-Ladestationen von ABB. Die kompakten Hochleistungslader sollen landesweit an Geschäften am Straßenrand und anderen öffentlichen Plätzen installiert werden, um Nutzern jederzeit und überall ein schnelles und bequemes Laden zu ermöglichen. Ende 2020 begann eMP damit, ausgediente Ladesäulen mit über 250 Terra 184-Stationen zu ersetzen.

Die Terra 184 ermöglicht das gleichzeitige Laden von zwei Fahrzeugen und ist Teil des ABB-Produktangebots von DC-Schnellladestationen. Die Säulen liefern 180 kW Ladeleistung an einem oder 90 kW an zwei Anschlüssen und eignen sich auch für zukünftige E-Fahrzeuge mit Hochspannungs-Batteriesystemen. Ein schnelles Aufladen für etwa 100 km Reichweite ist in unter 8 min möglich.

Die Terra 184-Ladestationen basieren auf dem CHAdeMO-Ladestandard, bei dessen Entwicklung TEPCO, der größte Anteilseigner von eMP, federführend war. Außerdem unterstützen sie

das internationale Standardprotokoll OCPP, das eine Steuerung und Wartung aus der Ferne ermöglicht.

Dank dieser Konformität kann die Terra 184 über ABB Ability™ – das einheitliche, branchenübergreifende digitale Angebot von ABB, das sich vom Gerät über den Netzwerkrand bis hin zur Cloud erstreckt – vernetzt werden, um eine zentrale Steuerung und schnelle globale Services für Updates und Wartung zu ermöglichen – Eigenschaften, die für eine schnelle Implementierung von Ladeinfrastrukturen entscheidend sind. Zudem können Ladenetzbetreiber wichtige Erkenntnisse und Statistiken zur Energienutzung auf Säulen-, Standort- und Netzebene generieren [3].

Die Terra 184 ist vielseitig konfigurierbar und kann mit einem Kreditkartenterminal, einem Bildschirm und einem Kabelmanagementsystem ausgestattet werden, um einem breiten Spektrum von Anwendern höchsten Ladekomfort zu bieten →02. Die sichere, intelligente und nachhaltige Ladelösung unterstützt die „Mission to Zero“ von ABB Electrification für eine emissionsfreie Zukunft und ist in Europa und Nordamerika direkt von ABB erhältlich.

Literaturhinweise

[2] ABB: „Terra 184 chargers to support modernization of Japan's EV charging infrastructure“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/66110/abbs-terra-184-chargers-to-support-modernization-of-japans-ev-charging-infrastructure> (abgerufen am: 24.11.2020).

[3] ABB: „ABB chargers to boost modernization of Japan's EV charging“. Verfügbar unter: <https://eepower.com/news/abb-chargers-to-boost-modernization-of-japans-ev-charging/> (abgerufen 24.11.2020).





03a



03b

03 Das automatisierte Containerterminal-Projekt von Tuas Port, Singapur.

03a Die 162 FTF werden über eine Ladeinfrastruktur von ABB elektrifiziert und versorgt.

03b Jede Ladestation wird mit der erforderlichen elektrischen Infrastruktur als komplette E-Mobilitätslösung in ein „eHouse“ integriert.

LADEINFRASTRUKTUR FÜR SINGAPURS AUTOMATISIERTEN CONTAINERTERMINAL

Zwei bedeutende Trends im Bereich der Mobilität sind die Einführung von Elektrofahrzeugen und der zunehmende Einsatz von autonomen Fahrzeugen.

Ein Beispiel hierfür ist der Tuas Port in Singapur, wo bis zum Jahr 2040 der größte voll automatisierte Containerterminal der Welt entstehen soll. Mit einer geplanten Umschlagkapazität von 65 Millionen TEU (20-Fuß-Standardcontainer) im Jahr ist der Terminal ein bedeutender Meilenstein in der Entwicklung des Stadtstaates [4].

Der Terminal soll Ende 2021 mit einer Flotte von 162 fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) zur Verteilung der schweren Frachtcontainer in Betrieb gehen, die über einen Zeitraum von zwei Jahren nach und nach in Dienst gestellt werden. Die Fahrzeuge sollen über die DC-Ladeinfrastruktur des Hafens elektrifiziert und versorgt werden, die von ABB bereitgestellt wird. Darüber hinaus hat sich ABB in enger Zusammenarbeit mit ST Engineering Land Systems den Auftrag zur Lieferung und Inbetriebnahme integrierter intelligenter Ladestationen für die FTF-Flotte des Hafenbetreibers PSA gesichert.

Der Auftrag umfasst 18 intelligente Schnellladestationen mit integrierter Fehlertoleranz und Selbstdiagnosefunktionen. Jede Station wird auf einem vorgefertigten Rahmen mit Mittel- und Niederspannungs-Schaltanlagen, Transformator, 450-kW-Hochleistungsladern und der dazugehörigen Steuer- und Überwachungstechnik in einem sogenannten „eHouse“ integriert [5]. Diese kombinieren die E-Ladetechnik und die dazugehörige elektrische Infrastruktur in einer kompletten E-Mobilitätslösung →03b.

ABB bietet eine Reihe von Pantograph-basierten Ladeanschlusslösungen für schwere elektrische Nutzfahrzeuge, die aber aufgrund der Container auf den FTF für Tuas nicht in Frage kamen. Stattdessen kommt eine kundenspezifische seitliche Steckanschlusslösung von Stäubli zum Einsatz. Die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und der Ladeinfrastruktur erfolgt über CCS (Combined Charging System), ein offenes, universelles Ladeprotokoll auf Basis internationaler Standards.

Der Status der Ladestationen und die Ladestände der FTF-Batterien werden zentral vom Flottenmanagementsystem des Hafenbetreibers überwacht, das auch das Aufladen der FTF koordiniert. Sobald ein FTF an seiner Ladestation ankommt, meldet es seine Ladebereitschaft.

Das Hafenprojekt in Singapur ist auch ein Meilenstein für ABB, denn es ist das erste Mal, dass die Ladestationen des Unternehmens zur Versorgung einer ganzen Flotte autonomer Fahrzeuge für den kommerziellen Betrieb eingesetzt werden. •

Literaturhinweise

[4] ABB: „Smart charging infrastructure for Singapore port's automated guided vehicles“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/63868/smart-charging-infrastructure-for-singapore-ports-automated-guided-vehicles> (abgerufen am 24.11.2020).

[5] ABB: „ABB to electrify autonomous vehicles for new port in Singapore“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/35893/abb-to-electrify-autonomous-vehicles-for-new-port-in-singapore> (abgerufen am 24.11.2020).

ELEKTRISCHE ENERGIE

Tmax XT: Leistungsschalter für eine digitale Ära

Der neue ABB SACE Tmax XT Kompaktleistungsschalter ist auf höchste Leistungsfähigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Konnektivität ausgelegt. Er bietet nicht nur einen intelligenten und umfassenden Stromkreisschutz, sondern erleichtert auch das Energiemanagement, die Installation und die Wartung.



Eumir Rizzi
ABB Electrification
Bergamo, Italien

eumir.rizzi@it.abb.com

Frühe Leistungsschalter bestanden aus einem einfachen thermisch-magnetischen Auslöser, der Ströme sensorisch erfasste und im Falle einer Überhitzung oder eines Kurzschlusses einen Schalter betätigte. Ende der 1980er Jahre kamen elektronische Auslöser auf der Basis von Stromwandlern auf, die den Strom maßen, anstatt ihn nur sensorisch zu erfassen. Auch ein Steuerungselement, z. B. eine verzögerte Auslösung, kam hinzu.

In jüngster Zeit haben die steigenden Überwachungsanforderungen in Verbindung mit einer zunehmend vernetzten Welt und das Aufkommen immer anspruchsvollerer Steuerungskonzepte die Entwicklung von Leistungsschaltern forciert. So haben Luftkern-Stromwandler mittlerweile die alten Stromwandler mit Eisenkern ersetzt. Zu den Vorteilen gehört unter anderem eine höhere Genauigkeit über den gesamten Betriebsbereich des Auslösers, der in vielen Fällen bis zum 12-fachen des Bemessungsstroms reicht. Moderne Elektronik ermöglicht zudem die Integration einer Spannungsmessung in den



01

Schalter, ohne dass dazu zusätzliche Spannungswandler erforderlich sind, was wiederum Platz und Installationszeit spart.

Die funktionale Integration setzte sich weiter fort, was dazu führte, dass die Komplexität abnahm und viele der Transformatoren, Zähler, Kabel, Klemmenleisten und Kanäle, die früher in einer Schaltanlage untergebracht werden mussten, entfallen konnten.

Moderne Elektronik ermöglicht die Integration einer Spannungsmessung in den Schalter.

Vom Schutzgerät zur Datenquelle

Die integrierte Energiezählerfunktion der neuesten Auslösergeneration ermöglicht den Aufbau einer umfangreichen Zählerarchitektur, ohne die Dimensionen oder die Komplexität des Verteilungssystems zu vergrößern. Dadurch können mehr Variablen an mehr Stellen gemessen werden, und zwar mit Abstraten im kHz-Bereich. Die Daten können direkt in der Einheit digitalisiert und verarbeitet werden. Verfügt der Auslöser über einen Datenlogger, können Strom-,



—
01 Die Palette der Kompaktleistungsschalter vom Typ Tmax XT.

Spannungs- und andere Parameterwerte gespeichert, analysiert, visualisiert oder in verschiedenen Formaten auf andere Geräte heruntergeladen werden.

Trotz der Fortschrittlichkeit dieser Geräte setzt die Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit der neuen ABB SACE Tmax XT Kompaktleistungsschalter neue Maßstäbe →01.

Der ABB SACE Tmax XT

Die Leistungsschalter der Tmax XT-Reihe sind für Ströme von 160 bis 1.600 A ausgelegt und zeichnen sich durch eine höhere Leistungsfähigkeit, einen besseren Schutz und eine präzisere Messung als vergleichbare Geräte aus. Der Tmax XT ist mit Schutzauslösern vom Typ ABB Ekip Touch ausgestattet, die vorkonfigurierte bzw. konfigurierbare digitale und analoge Schnittstellen bereitstellen. Die Kombination aus Tmax XT und Ekip Touch bietet eine Leistungsfähigkeit, die traditionell nur von Multimetern oder Netzanalysegeräten erreicht wird, d. h. Messung von Spannung, Energie, Leistung und Oberschwingungen mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$, Berechnung der Oberschwingungen bis zur 50. Harmonischen und Erkennung von Schwellenwerten unter 0,4 % des Nennstroms.

Der Tmax XT kann mit Plug-in-Modulen zur Erfassung von Temperatur (über Thermoelemente), Spannungen einer anderen Stromleitung,

Vibrationen und Druck ausgerüstet werden. Tatsächlich kann jeder beliebige 4–20-mA-Sensor mit dem Tmax XT gekoppelt werden. Die von den Sensoren erfassten Informationen können direkt von der Auslöseeinheit verarbeitet werden – z. B. zur Generierung von Alarmen, zur Ausgabe eines Befehls oder zur Auslösung eines Schalters – anstatt über einen Kommunikationsbus zur Verarbeitung an ein entferntes Leitsystem übertragen zu werden. Sämtliche Sensoren werden über die im Tmax XT installierte Ekip Touch-Auslöseeinheit angeschlossen →02.

—
Der Tmax XT zeichnet sich durch eine höhere Leistungsfähigkeit, besseren Schutz und präzisere Messung aus.

Gemeinsamkeiten innerhalb der Palette

Die Tmax XT-Reihe verfügt über die präzisesten elektronischen Auslöser der Welt in den kleinsten Baugrößen und baut damit auf dem ABB Emax 2 auf, dem ersten intelligenten offenen Niederspannungs-Leistungsschalter der Branche. Die Tmax-Reihe weist die gleiche Logik, die gleichen Funktionsmerkmale und die gleichen Schnittstellen wie der Emax 2 auf. Diese Gemeinsamkeiten,



02a



02b

die nur ABB über die gesamte Leistungsschalterpalette hinweg anbieten kann, ermöglichen signifikante Zeiteinsparungen und erhöhen die Installationsqualität.

Eine neue Art des Informationszugriffs

Die Tmax XT-Auslöser sind mit einem farbigen Touchscreen-Display ausgestattet, das Dank einer internen Batterie auch bei spannungsfreiem Schalter eingeschaltet werden kann. So können nach einer Auslösung Daten abgerufen werden, die Aufschluss über den Grund der Auslösung geben, bevor der Leistungsschalter wieder eingeschaltet wird.

Das Touchscreen-Display nutzt intuitive Symbole, wie man sie von Tablets oder Mobiltelefonen kennt. Auch komplexe Funktionalitäten sind einfach zu bedienen – entweder direkt vom Touchscreen-Display aus oder mithilfe der Bluetooth-Konnektivität des Auslösers: Sobald ein Mobiltelefon mit dem Ekip Touch-Auslöser eines Tmax XT →03, gekoppelt ist, können alle Ablesungen und Einstellungen über die kostenlose EPIc App vorgenommen werden →04.

Das Modbus-Modul ermöglicht eine schnelle Integration neuer Produkte.

Verbindungsmöglichkeiten zum Tmax XT

In den von Tmax XT-Leistungsschaltern erfassten Daten steckt ein erheblicher Nutzen – insbesondere, wenn Daten von vielen Schaltern an verschiedenen Standorten erfasst, zusammengeführt, verglichen und in ihrer Gesamtheit analysiert werden können. Um dies zu erreichen, müssen entsprechende Möglichkeiten zur Datenübertragung bereitgestellt werden. Die Ekip Touch-Auslöser ermöglichen die Nutzung von ABB Ability™ EDCS (Electrical Distribution Control System), das über 10 Kommunikationsprotokolle unterstützt. (ABB EDCS ist eine cloudbasierte Plattform, die die Überwachung und Steuerung der elektrischen Verteilung einer Anlage per Smartphone, Tablet oder Computer in Echtzeit ermöglicht, um den Energieverbrauch und die Energiekosten zu optimieren.) Dazu können spezielle Module – z. B. für Feldbusse wie Modbus RTU, Profibus DP und DeviceNet – auf den Schalter aufgesteckt werden, um diese Kommunikationsmöglichkeiten zu nutzen.



— 02 Ekip-Zubehör zur Erweiterung der Funktionalitäten des Tmax XT.

02a Die Ekip Cartridge kann auf einer standardmäßigen 35-mm-DIN-Schiene installiert werden, um den Anschluss weiterer externer Module an Ekip Touch und Tmax XT zu ermöglichen.

02b Ekip Signalling 3T ist ein Modul, das über die Ekip Cartridge angeschlossen werden kann, um drei analoge Eingänge für Temperatursensoren und einen analogen Eingang für 4–20-mA-Stromschleifen bereitzustellen.

— 03 Der Tmax XT kann mit Auslösern der Ekip Touch-Familie konfiguriert werden. Das Bild zeigt den dreipoligen Ekip Touch-Auslöser des XT5.

— 04 Beispiel eines Bildschirms der EPIC App. Die App ist mit den meisten Betriebssystemen für Mobiltelefone kompatibel.

— 05 Architektur der Ekip Com-Module, die an den Tmax XT angeschlossen werden können.

Das Modbus-Modul ermöglicht eine schnelle Integration neuer Produkte in vorhandene Systeme. Mit 12 MBit/s ist Profibus DP die ideale Wahl für Automatisierungsschaltanlagen, in denen ein schneller Datenaustausch erforderlich ist. Lösungen zur Anbindung der Leistungsschalter an Ethernet-Netzwerke stehen ebenfalls zur Verfügung. Die Modbus TCP/IP-Kommunikationsmodule arbeiten mit 100 MBit/s und können als Webserver genutzt werden, wobei per Browser auf die im Auslöser gespeicherten Daten zugegriffen werden kann.

Schnittstelle zur Außenwelt

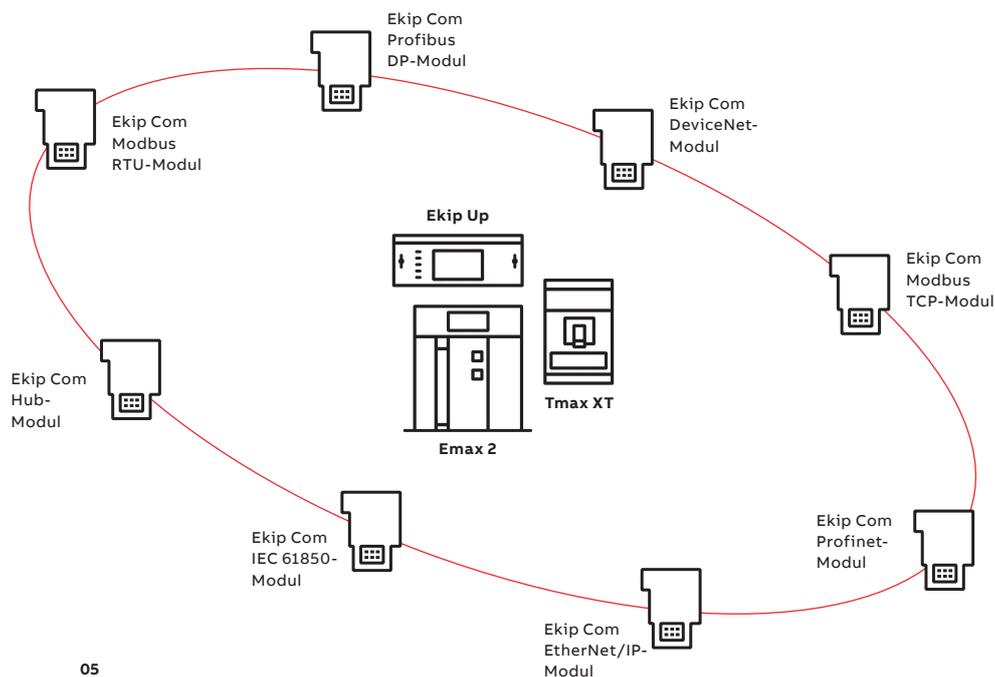
Die IEC 61850 setzt sich zunehmend als Kommunikationsstandard für Schutz- und Steuerungssysteme in elektrischen Anlagen durch. Da Leistungsschalter im Fehlerfall sehr schnell reagieren müssen, wurden die beiden in der Norm beschriebenen Protokolle für eine latenzarme Kommunikation im Tmax XT implementiert: MMS (Manufacturing Message Specification) für die vertikale und GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) für die horizontale Kommunikation.

Die Konnektivität des Tmax XT ebnet den Weg für den Umstieg von einem reaktiven Instandhaltungs- bzw. Reparaturansatz auf eine vor-



04

ausschauende Strategie. Statt den Leistungsschalter erst auslösen zu lassen, kann die Analyse der Daten vom Schalter – oder von einem ganzen Schalternetzwerk – dabei helfen, das Auftreten von Fehlern von vornherein zu verhindern.



05



06

Die Konnektivität des Schalters ermöglicht zudem eine Echtzeit-Steuerung von Anlagen per Fernüberwachung und -steuerung. Wenn die Ekip-Auslöser mit bestimmten Modulen ausgerüstet sind →05, können z. B. entsprechende Steuerlogiken implementiert, Netze rekonfiguriert oder Generatoren gesteuert werden, um nur einige Beispiele im Zusammenhang mit Smart Grids zu nennen. Ferner können durch den Anschluss eines Ekip Com Hub-Moduls an einen Auslöser die Daten von mehreren Schaltern gebündelt und das Netzwerk mit einem von ABB verwalteten Cloud Space verbunden werden.

Tmax XT für eine grünere Welt

Die Überwachung des Stromverbrauchs auf allen Ebenen einer Anlage ist eine wichtige Voraussetzung, wenn es darum geht, die Energieeffizienz zu optimieren, die Stromkosten zu senken und Strafen für einen Mehrbedarf an Energie zu vermeiden. Darüber hinaus kann ein Vergleich ähnlicher Anlagen an verschiedenen Standorten dabei helfen, optimale Verfahrensweisen innerhalb eines Unternehmens zu bestimmen.

Ein weiterer Anreiz für eine effiziente Nutzung elektrischer Energie ist die Zertifizierung als „grünes Gebäude“, die in vielen Ländern für neue Wohn- und Infrastrukturgebäude wie Krankenhäuser, Einkaufszentren und Rechenzentren zunehmend gefordert wird. So wird die höchste Energieeffizienzklasse immer mehr zu einer gängigen Vorgabe bei Bauvorhaben.

Der Tmax XT eignet sich ideal für eine solche umfangreiche Überwachung. Dank seiner integrierten Konnektivität können die Datenanalysetools der ABB Ability™ EDCS Cloud-Computing-Plattform per Smartphone, Tablet und PCs genutzt werden, um den Zustand der elektrischen Anlage zu überwachen, optimieren, steuern und vorherzusagen →06. Dank der hohen Genauigkeit der gemessenen Daten haben Nutzer jederzeit Zugriff auf präzise Informationen, was eine gezielte Überwachung der Ressourcen und Erkennung von Einsparungspotenzialen erleichtert. Die integrierte intelligente Laststeuerungsfunktion Ekip Power Controller hilft dabei, den Energieverbrauch zu senken, eine effiziente Prüfung für die Gebäudezertifizierung zu ermöglichen und externe Auditkosten zu reduzieren.

— Es gibt drei verschiedene Arten des Cloudbetriebs mit jeweils eigenen Sicherheitsmaßnahmen.

Cybersicherheit

Cloud-Technologie kann die Skalierbarkeit von Architekturen signifikant verbessern, die Flexibilität bei der Anbindung von neuen und älteren Geräten erhöhen und dabei helfen, Investitionen zu schützen. Allerdings bieten moderne dezentrale Systeme auch eine erheblich größere Angriffsfläche sowohl für absichtliche als auch unfreiwillige Online-Bedrohungen. Die ABB Ability™ Cloud-Architektur wurde in Zusammenarbeit mit Microsoft entwickelt, um ein Höchstmaß an Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit zu gewährleisten →07. Es gibt drei verschiedene Arten des Cloudbetriebs mit jeweils eigenen Sicherheitsmaßnahmen:

- **Gerät zu Cloud:** In diesem Fall wird eine „Whitelist“ zur eindeutigen Identifizierung eingerichtet, und nur eine lokale Inbetriebnahme ist erlaubt. Es wird ein verschlüsselter Kommunikationskanal verwendet, der das gleiche Protokoll nutzt wie Bankensysteme. Es können keine Befehle von der Cloud zur Anlage gesendet werden.
- **In der Cloud:** Dies bezieht sich auf die Kommunikation zwischen Rechenzentren. ABB-/Kundendaten werden ausschließlich in zertifizierten Rechenzentren mit aktuellen Cybersicherheitsstandards gespeichert, die auf den Sicherheitsrichtlinien der Microsoft Azure Cloud-Plattform basieren.

— 06 Eine typische Anzeige der ABB Ability™ EDCS Cloud-Computing-Plattform.

— 07 Der Tmax XT verfügt nicht nur über eine hervorragende Konnektivität, sondern bietet auch ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit und Sicherheit.

- **Browser zu Cloud:** Hierbei ist für den Datenzugriff zuerst eine Authentifizierung über eine einmalige Benutzeranmeldung (ABB Single Sign-On) und eine besondere Berechtigung erforderlich. Die Kommunikation erfolgt über einen verschlüsselten Kanal, und es können keine Befehle von der Cloud zur Anlage gesendet werden.

Alle Sicherheitsvorkehrungen basieren auf Analysen des Bedrohungspotenzials und werden gemäß Sicherheitsrichtlinien und wiederkehrenden Codeprüfungen entwickelt. Außerdem wird die Cybersicherheit kontinuierlich überprüft und durch Penetrationstests zur Bestätigung der Robustheit validiert.

Ein zukunftsweisender intelligenter Schalter

Die Tmax XT-Familie wurde im Hinblick auf die zunehmend komplexen und breit gefächerten Anforderungen im Bereich des elektrischen Schutzes entwickelt. Seine umfangreichen Funktionalitäten machen den Tmax XT zu

— Seine umfangreichen Funktionalitäten machen ihn zu einer intelligenten, multifunktionalen und modularen Plattform.

einer intelligenten, multifunktionalen und modularen Plattform, die Lichtjahre von der einfachen Leistungsschaltertechnologie der 1980er Jahre entfernt ist. Präzise Messungen, eine umfangreiche Datenerfassung, vielfältige Kommunikationsmöglichkeiten, Cloudfähigkeit und Cybersicherheit sind nur einige der Stärken einer Produktfamilie, die darauf ausgelegt ist, die Zukunft elektrischer Systeme mitzugestalten und Kunden die Möglichkeit zu bieten, die Funktionalität ihrer elektrischen Anlagen auf ein neues Niveau zu heben. •



ELEKTRISCHE ENERGIE

Eine neue Art der Verbindung in Schaltschränken



01

ABB ReliaGear® neXT und ReliaGear® SB revolutionieren die Art und Weise, wie elektrische Verbindungen in Energieverteilern und Schaltanlagen hergestellt werden. In Kombination mit einem modularen Panel-Design und den Leistungsschaltern vom Typ ABB SACE® Tmax® XT ermöglicht dies eine schnellere, zuverlässigere und hochwertigere Installation.

Bhavya Kapadia
Kiran Bhattar
Harshada Nagare
 ABB Smart Power
 Hyderabad, Indien

bhavya.kapadia@in.abb.com
 kiran.bhattar@in.abb.com
 harshada.nagare@in.abb.com

Tim Ford
 ABB Smart Power
 Cary, NC, USA

tim.ford@us.abb.com

Steven Greenwald
 ABB Smart Power
 Plainville, CT, USA

steven.greenwald@us.abb.com

Die Mehrheit der elektrischen Verbindungen in der Industrie wird durch Steck- oder Schraubverbinder hergestellt, die beide mit eigenen Problemen behaftet sind. Schraubverbindungen können sich z. B. mit der Zeit lösen, was nicht nur zur Erwärmung durch erhöhte Widerstände, sondern auch zur Bildung von Lichtbögen und zu Kurzschlüssen führen kann. Da der Zustand der elektrischen Verbindungen eine besondere Rolle für die Sicherheit, Effizienz, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit einer elektrischen Anlage spielt, hat ABB die neue ReliaGear-Stecktechnik entwickelt, um eine optimale Verbindung zu gewährleisten →01.

ReliaGear-Stecktechnik

Die ReliaGear-Stecktechnik stellt eine bedeutende Verbesserung gegenüber klassischen Schraubverbindungen bei der Installation und beim Anschluss von Geräten in Energieverteilern und Schaltanlagen dar. Das zentrale neue Designmerkmal der ReliaGear neXT und ReliaGear SB Produkte ist eine feste vertikale Busschiene mit Schlitzen →02. Die (netzseitigen) Anschlüsse der

dazugehörigen Leistungsschalter verfügen über einen Clip mit einer entsprechenden Geometrie, der in die Schlitze des vertikalen Busses einrastet →03. Während sich traditionelle Verbindungen durch die bei Fehlerströmen auftretenden Kräfte lockern können, nutzt ReliaGear diese Kräfte auf intelligente Weise, um die Verbindung zu festigen.

ABB hat die ReliaGear-Stecktechnik entwickelt, um eine optimale Verbindung zu gewährleisten.

Die steckbaren ReliaGear-Leistungsschaltereinheiten umfassen den Leistungsschalter und die netzseitige Anschlusseinheit in einem einzigen, werksmontierten Gerät. Das heißt, der netzseitige Anschluss ist in einer einzigen Einheit

—
01 Die ABB ReliaGear-Stecktechnik vereinfacht Installationsarbeiten, bei denen elektrische Verbindungen hergestellt werden. Das Bild zeigt das ReliaGear neXT Frontpanel in geschlossenem Zustand.

—
02 ReliaGear-Steckverbinder.

—
03 Die Installation von Geräten wie diesem Leistungsschalter ist denkbar einfach.

vormontiert, und es gibt keinen Montagesatz mit mehreren Leitern und keinen Hardwareersatz. Da kein Zusammenbau vor Ort erforderlich ist und kein komplizierter Teilesatz für den Anschluss benötigt wird, ist die Installation schnell und einfach.

Montage

Der Schlüssel zu einer schnelleren Installation liegt im modularen Design des ReliaGear neXT Panelboard. Ein am Leistungsschalter befestigter Montagewinkel aus Stahl dient als Hebelpunkt, an dem der Schalter in seine Position gehoben wird, wobei die Steckfinger in den vertikalen Bus einrasten. Anschließend wird der Schalter mit leicht zugänglichen Halteschrauben am Montagewinkel sicher an seiner Position befestigt. Es muss kein Drehmoment an der elektrischen Verbindung überprüft werden, und es werden keine speziellen Werkzeuge benötigt. Das spezielle

Design der netzseitigen Anschlüsse hilft bei der korrekten Ausrichtung und unterstützt die Clips bei der Installation und Entnahme.

Dank der in gleichmäßigen Abständen vorgesehenen Schlitze ermöglicht das ReliaGear neXT Schienensystem eine schnelle und einfache Installation von Geräten verschiedener Länge und Breite. Alle Geräte mit Schlitzen an der rückseitigen Halterung, die in die Öffnungen an der Schiene passen und sich im Bus-Stack installieren

—
Der Schlüssel zu einer schnelleren Installation liegt im modularen Design.

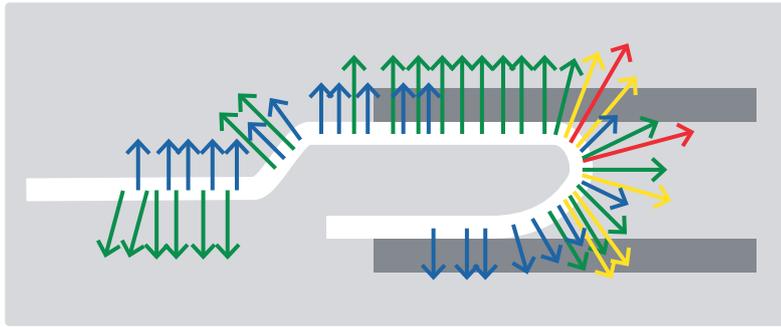
lassen, können dort positioniert werden. Umgekehrt passen die größten Geräte konstruktionsbedingt nicht in die Schlitze bzw. den vertikalen Bus, wenn sie für das Panel nicht geeignet sind. Die Schlitze sind so konstruiert, dass der „X“-Abstand (d. h. die Anzahl der verfügbaren Montagepositionen) die verschiedenen Leistungsschalterbreiten berücksichtigt. Jeder Schalter und jedes Zubehör, das im Bus-Stack montiert wird, besitzt bestimmte Anforderungen hinsichtlich der X-Abstände. Der Einsatz von Blindabdeckungen zum Schließen von Lücken ist ebenfalls möglich.



02



03



04

Bei korrekter Installation eines Geräts im Schienensystem liegen die Schraubenlöcher der rückseitigen Halterung genau über den dafür vorgesehenen Löchern im darunter liegenden Rahmen, sodass die Schrauben mühelos installiert werden können. Dieses effiziente Design sorgt dafür, dass die Geräte bei der Installation korrekt positioniert werden und vollständig einrasten.

Das ReliaGear neXT und SB System wurde mit Bedacht konzipiert, um ein möglichst einfaches Einsetzen der Geräte und eine hohe Kontaktintegrität zu gewährleisten. Dabei erhöhen sich die zum Einsetzen erforderlichen Kräfte mit der Stromtragfähigkeit des zu installierenden Geräts. Leistungsschalter mit einer geringen Stromtragfähigkeit lassen sich mit minimalem Kraftaufwand und minimaler Unterstützung einsetzen. Für größere Schalter ist das ReliaGear neXT Panelboard so konzipiert, dass das Gewicht des Schalters bis zum endgültigen Einstecken unterstützt wird.

Untersuchungen haben ergeben, dass die Installation eines Leistungsschalters mit allen Anschlüssen und Befestigungen durch einen erfahrenen Techniker im Durchschnitt 10 Minuten oder länger dauern kann. Zudem ist ein passender Drehmomentschlüssel erforderlich, um eine einwandfreie Verbindung sicherzustellen. Die Installation eines vergleichbaren Schalters in ein ReliaGear neXT Panelboard ist in unter 30 Sekunden möglich, wobei benachbarte Geräte unberührt bleiben und nur einfache Handwerkzeuge benötigt werden.

Leistungsvermögen bei Nennlast

Der netzseitige Anschluss des Leistungsschalters verfügt über eine Druckfeder im Clip, die durch den Clip selbst gesichert ist und unter normalen Betriebsbedingungen für den erforderlichen Kontaktdruck sorgt. Da sie federbelastet ist, löst sich die Verbindung nicht mit der Zeit. Außerdem gibt es keine Schraubverbindungen, die inspiziert oder gewartet werden müssen, und der

Kontaktdruck wird durch die Feder aufrechterhalten. Die ReliaGear-Cliptechnik ist eine patentierte Lösung, die eine wiederholbare und zuverlässige Kraft auf die Verbindung ausübt und so einen sicheren und robusten Anschluss gewährleistet.

— Die Installation eines Schalters ist in unter 30 s möglich, wobei nur einfache Werkzeuge benötigt werden.

Wenn es um die Kontaktfläche von elektrischen Verbindungen geht, spielt das Verhältnis zwischen realer Kontaktfläche und scheinbarer Kontaktfläche eine entscheidende Rolle. Man könnte zwar annehmen, dass dieses Verhältnis bei einer perfekten Oberfläche größer ist als bei einem Linienkontakt, doch Experimente und Berechnungen beweisen das Gegenteil: Ein von der integrierten Druckfeder gehaltener ReliaGear neXT Clipanschluss erhöht das Verhältnis gegenüber traditionellen Verfahren von 20 % auf über 40 % →04. Um eine vergleichbare Kontaktfläche mithilfe einer klassischen Schraubverbindung zu erreichen, sind hochfeste Verbindungselemente und hohe Anzugsmomente erforderlich – eine in der Praxis besonders anfällige Kombination.

Leistungsvermögen bei Kurzschlüssen

Die bei Fehlerströmen auftretenden elektromagnetischen Kräfte können sich auf den Verbindungswiderstand von Schraubverbindungen und somit das Wärmeverhalten auswirken. Hier dreht die steckbare Cliptechnik von ReliaGear den Spieß um und nutzt diese Kräfte, um eine gegenteilige Wirkung zu erzielen. Bei ReliaGear werden die Abstoßungskräfte zwischen dem Clip und dem Bus durch die in den Armen des Clips erzeugten Abstoßungskräfte überwunden →04. So wird die „Abstoßung“ sozusagen in eine „Andrückung“ umgewandelt. Bei dieser Anordnung intensiviert

— 04 Das Kraftvektordiagramm zeigt die auf den vertikalen Bus wirkenden Abstoßungskräfte innerhalb des ReliaGear-Clips, die bei einem Hochstrom-/ Kurzschlussereignis Druckkräfte erzeugen. Die Größe der Kraft nimmt von Blau über Grün zu Rot zu. Die resultierenden Druckkräfte sorgen für eine festere Verbindung als unter normalen Betriebsbedingungen.

— 05 Die IP20-Konformität des fingersicheren vertikalen Bus-Stacks wurde mit einem kalibrierten Prüfkörper festgestellt.

sich die Kontaktkraft proportional mit der Größe des Stroms, wodurch der Clipanschluss auch bei Fehlern und Kurzschlüssen sicher hält.

Vibrationsprüfung

Da Vibrationen in der Praxis eine häufige Ursache für Verbindungsfehler darstellen, wurde die strukturelle und funktionelle Integrität des ReliaGear neXT Systems durch umfangreiche Vibrationsprüfungen verifiziert. Dazu wurde eine ReliaGear neXT-Einheit fest auf einem Rütteltisch montiert und mit Schwingungen beaufschlagt, die den relevanten Anforderungen entsprachen bzw. diese übertrafen (hier International Code Council Evaluation Services Acceptance Criteria 156 (ICC-ES AC156)).

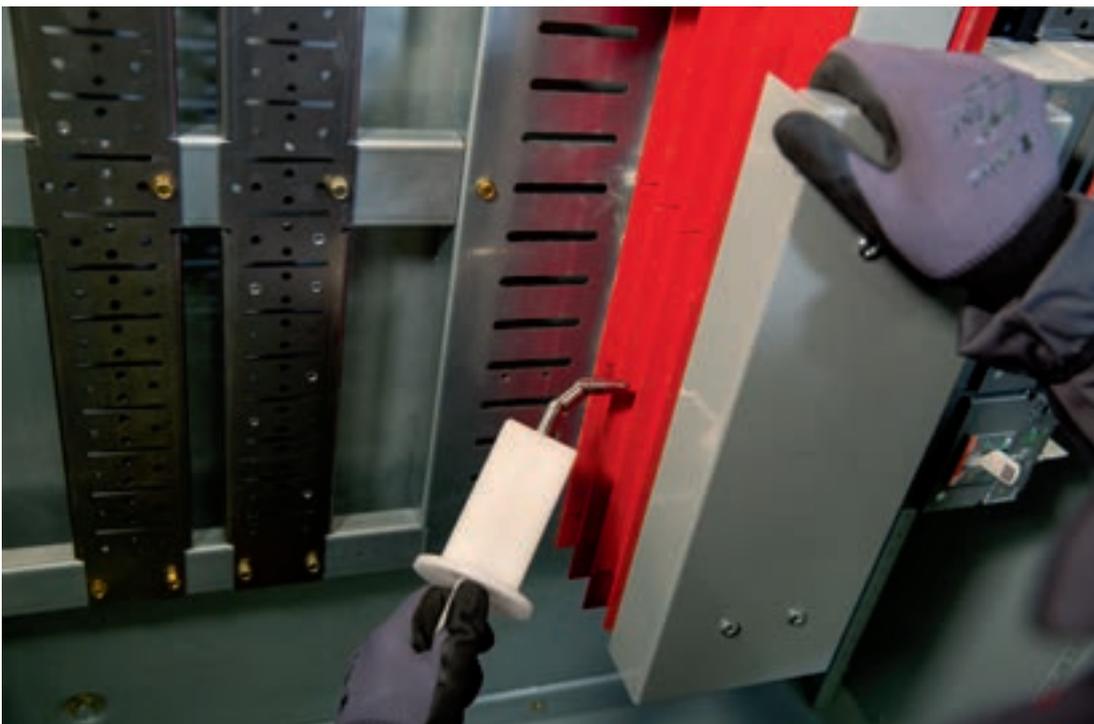
Schutzart (IP)

Die Schutzart gemäß IEC 60529 (IP-Code) definiert den Schutz eines Gehäuses gegen Staub, Wasser und versehentliches Berühren. Das patentierte ReliaGear neXT Design beinhaltet eine eingegossene mechanische Barriere, die bestimmte Konfigurationen des Bus-Stacks gegen versehentliches Berühren durch feste Objekte mit einem Durchmesser von mehr als 12,5 mm schützt. Dies entspricht einem Schutzgrad von IP20, der allgemein auch als „fingersicher“ bezeichnet wird. Zudem wird die Gefahr eines Berührens des Bussystems durch Fremdkörper minimiert →05.

— Die strukturelle und funktionelle Integrität wurde durch umfangreiche Vibrationsprüfungen verifiziert

Sichere und zuverlässige Verbindung

Sicherheit und Zuverlässigkeit sind die wichtigsten Aspekte eines jeden elektrischen Verbindungskonzepts. Das ReliaGear neXT Panelboard wurde darauf ausgelegt und getestet, die Sicherheit zu verbessern und eine langfristige Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Die ReliaGear-Steckverbindungen stellen eine Verbesserung gegenüber den steckbaren Verbindungen dar, die schon länger im Bereich der Stromverteilung und Steuerungstechnik zum Einsatz kommen, denn sie bieten im Vergleich zu Schraubverbindungen bei Nennstrom ein besseres Verhältnis zwischen realer und scheinbarer Kontaktfläche. Zudem nutzt das Design die im Fehlerfall auftretenden elektromagnetischen Kräfte, um die elektrische Verbindung zu verbessern. Kurz gesagt, das Design von ReliaGear ermöglicht eine sicherere, einfachere und schnellere Installation und sorgt gleichzeitig für eine dauerhaft hochwertige Verbindung. •





ELEKTRISCHE ENERGIE

Blaskolben- Lasttrenn- schalter für SF₆-freie Anwendungen

Vakuum-Lasttrennschalter (LTS) werden häufig in Schaltanlagen eingesetzt, die mit umweltfreundlichen Alternativen zum Isoliergas SF₆ gefüllt sind. Allerdings sind diese Schalter mit einigen Nachteilen verbunden. Ein verbessertes Blaskolben-Schalterdesign verspricht eine zuverlässige, kostengünstige und einfach anzuwendende Alternative.

—
Elham Attar
Magne Saxegaard
ABB Electrification
Skien, Norwegen

elham.attar@
no.abb.com
magne.saxegaard@
no.abb.com

Nitesh Ranjan
Jan Carstensen
Ehemalige ABB-
Mitarbeiter

Ökologische Bedenken hinsichtlich des Treibhauspotenzials von SF₆ fördern die Entwicklung einer neuen Generation von gasisolierten Schaltanlagen (GIS) auf der Basis umweltfreundlicher Isoliergase. In diesen Schaltanlagen kommen LTS mit Vakuum-Schalttechnik zum Einsatz, wobei ein erheblicher Forschungsaufwand getrieben wird, um die mit dieser Technologie verbundenen dielektrischen und thermischen Herausforderungen zu bewältigen [1,2]. Vakuum-schalter sind zudem teuer und erfordern einen zusätzlichen Trennschalter mit einem komplexen Antriebsmechanismus.

Ein verbessertes Blaskolben-Schalterdesign verspricht eine zuverlässige, kostengünstige und einfach anzuwendende Alternative →01.

Schalterdesign für ökoefizientes Isoliergas
Der Blaskolbenschalter besteht aus einer Verdichtungskammer und einer Schaltkammer →02.



01

Beim Öffnen des Schalters wird der entstehende Lichtbogen mithilfe des Überdrucks, der durch Verdichtung des Gases mit dem Kolben erzeugt wird, „ausgeblasen“. Das verdichtete Gas gelangt in die Lichtbogenzone, wo es den Lichtbogen, der zwischen den Kontakten zündet, abkühlt. Der Lichtbogen wird beim ersten Stromnulldurchgang gelöscht, wenn der Kontaktabstand und die Kühlung ausreichen, um der Einschwingspannung zu widerstehen. Die Einschwingspannung entsteht durch magnetische Energie, die in den Induktivitäten auf der Lastseite des Leistungsschalters gefangen ist. Dadurch entsteht ein Strom, der zwischen den Kapazitäten und Induktivitäten zirkuliert und eine transiente Überspannung verursachen kann. Aus der Differenz zwischen dem Spannungspotential vor dem Leistungsschalter und diesen transienten Überspannungen ergibt sich die Einschwingspannung.

Da SF₆ in der Lage ist, sowohl den Lichtbogen zu kühlen als auch das Isolationsniveau nach dem Schaltvorgang schnell wiederherzustellen, eignet es sich gut als Isoliergas für Schalter. Der Austausch von SF₆ gegen ökoefiziente Alternativen in einem Blaskolbenschalter senkt das Unterbrechungsvermögen sowohl in der thermischen als auch der dielektrischen Phase (siehe folgende zwei Abschnitte) aufgrund der schlechteren Lichtbogen-Löscheigenschaften und der geringeren dielektrischen Festigkeit alternativer Gase.

ABB hat einen Blaskolbenschalter entwickelt, der diese Nachteile ökoefizienter Gase beseitigt. Ein erheblich besseres Unterbrechungsvermögen bei SF₆-Alternativen wird mithilfe einer sogenannten Staupunktströmung des Gases um die Lichtbogenzone erreicht. Da es aufgrund der geringeren dielektrischen Festigkeit in kalten und heißen Zonen des LTS zu Wiederezündungen kommen kann, wurden innovative Lösungen implementiert, um das Strömungsmuster des heißen Gases so zu gestalten, dass ein Wiederzünden des Lichtbogens verhindert wird. Obwohl das Ausschaltvermögen die Hauptherausforderung darstellt, wurde auch das dielektrische und thermische Design des LTS optimiert. Die in dieser Hinsicht erzielten Fortschritte ermöglichen den Bau eines kompakten LTS, der mit ökoefizienten Isoliergasalternativen genutzt werden kann, ohne dass sich die von SF₆-GIS gewohnten Leistungsdaten und der Platzbedarf ändern.

—
Der entstehende Lichtbogen wird mithilfe des Überdrucks des verdichteten Gases „ausgeblasen“.

Thermische Unterbrechung

In →03 sind verschiedene Topologien der Strömung um die Lichtbogenzone dargestellt. Das übliche Strömungsmuster in SF₆-gefüllten Mittelspannungs-Blaskolbenschaltern ist die „einfache Strömung“. Hier strömt das Gas direkt durch das bewegliche Kontakt- und Düsenystem zum festen Kontakt. Versuche mit einem solchen Schalterdesign bei verschiedenen Gasdrücken und Lasten haben gezeigt, dass das Unterbrechungsvermögen für SF₆-freie Mittelspannungsanwendungen nicht ausreicht [3].

Daher wurden zwei alternative Konzepte mit einer Einzel- und einer Doppelströmung untersucht. Beide weisen einen „Staupunkt“ auf, der das Unterbrechungsvermögen bei Verwendung von Luft gegenüber dem einfachen Strömungsdesign nachweislich deutlich verbessert →03. Ein Staupunkt ist ein Punkt in einem Strömungsfeld, an dem die lokale Geschwindigkeit des Fluids verschwindet und sämtliche kinetische Energie in Druckenergie umgewandelt wird. Die Staupunktströmung wird häufig in Hochspannungs-Leistungsschaltern genutzt, aber für kommerzielle Mittelspannungs-LTS sind keine Anwendungen bekannt.

01 Neue Blaskolben-schalter bieten Vorteile gegenüber Vakuum-Leistungsschaltern (VLS), wie sie in Schaltanlagen wie dieser GIS vom Typ SafePlus Air CCV (2 VLS + 1 Trennschalter) zum Einsatz kommen.

02 Schematische Darstellung des Blaskolbenschal-ters.

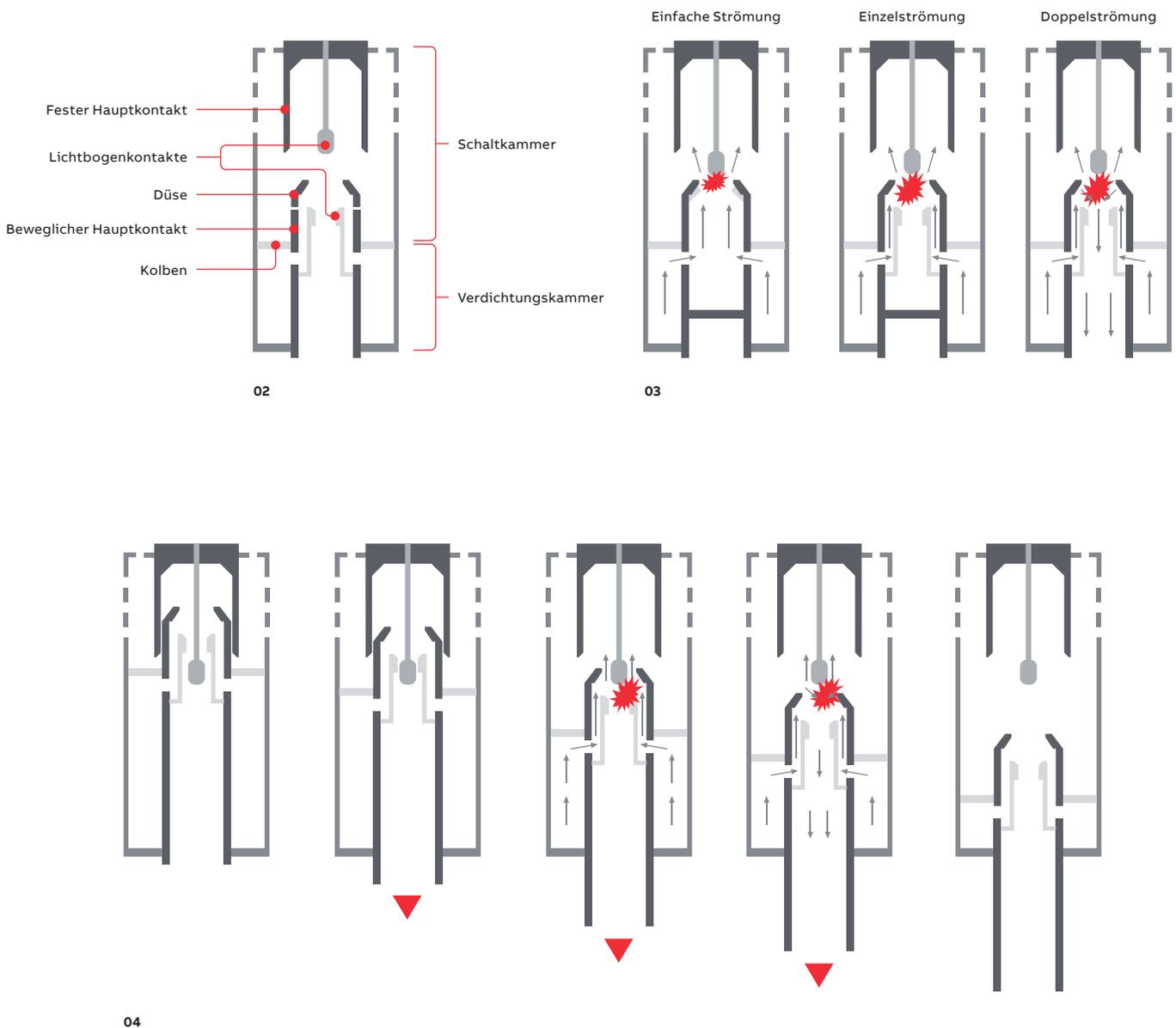
03 Einfache Strömung und zwei Staupunkt-strömungen (Einzel- und Doppelströmung) im Vergleich.

04 Öffnungsvorgang eines Blaskolbenschal-ters mit Doppelströmungsgeometrie.

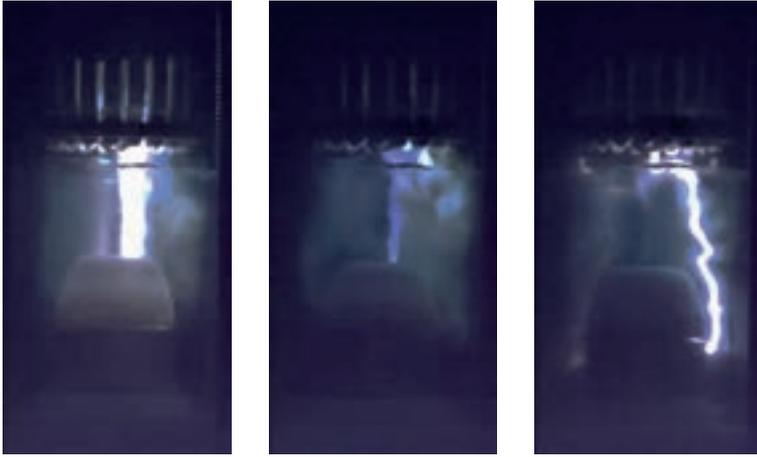
Das gewählte Strömungsmuster sorgt für eine erhebliche Verbesserung des Unterbrechungsvermögens

Beim Öffnen eines Schalters mit Staupunkt-design verdichtet der mit dem beweglichen Kontakt verbundene Kolben das Gas, wodurch in der Verdichtungskammer ein Überdruck entsteht. Gleichzeitig wird der Tulpenkontakt vom Kontaktstift des Lichtbogenkontakts weggezogen, wodurch sich ein Lichtbogen bildet →04. Der

Lichtbogen erwärmt das Gas, das den kritischen Querschnitt der Düse zum Teil „verstopft“, was den Druck in der Verdichtungskammer weiter erhöht. Schließlich bläst das unter Druck stehende Gas in die Lichtbogenzone und hilft dabei, den Lichtbogen zu löschen. Das Löschen des Lichtbogens sollte vorzugsweise beim ersten Stromnulldurchgang erfolgen, weshalb ein ausreichender Gasdruck erforderlich ist, um den Lichtbogen zu diesem Zeitpunkt auszublasen. Als Teil des neuen Designs wurden spezielle Öffnungen um die Lichtbogenzone herum angeordnet, über die Frischgas nachströmen kann, um einen schnellen Austausch des Heißgases zu gewährleisten.



04



05

Viele Parameter des Blaskolben-Designs beeinflussen die Gasströmung und den Druckaufbau im System und somit auch das Ausschaltvermögen. Bei dem hier beschriebenen Schalter wird das Gas als Lösch- und Isoliermedium genutzt. Die besondere Form des gewählten Strömungsmusters in der Lichtbogenzone sorgt für eine erhebliche Verbesserung des Unterbrechungsvermögens.

Dielektrische Wiederzündung

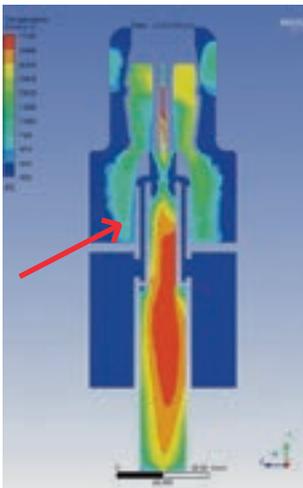
In der dielektrischen Phase – etwa 10 bis 100 μ s nach dem Stromnulldurchgang bei einem Reststrom nahe Null – kann es zu Wiederzündungen kommen, wenn eine durch den Lichtbogen erzeugte Mischung aus heißem Gas und Metaldampf an den Kontakten verbleibt. Diese Mischung besitzt eine geringere dielektrische Festigkeit als kaltes Isoliergas, und wenn die Einschwingspannung steigt, können Wiederzündungen innerhalb oder außerhalb des ursprünglichen Plasmakanals auftreten. Um die Robustheit des neuen Schalterdesigns in dieser Hinsicht zu quantifizieren, wurden in verschiedenen

Entwicklungsphasen entsprechende Versuche durchgeführt →05.

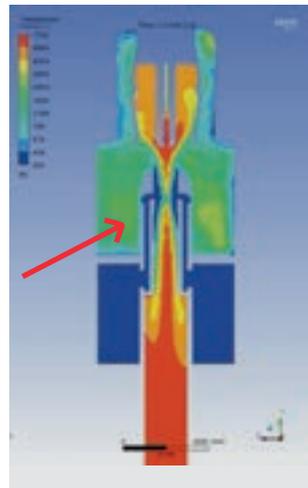
Neben Versuchen im Maßstab 1:1 sind numerische Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics, CFD) ein weiteres bedeutendes Tuningwerkzeug sowohl für die Ursachenanalyse als auch die Sensitivitätsanalyse neuer Designkonzepte für Schaltanlagen. →06 zeigt eine CFD-Modellierung der heißen Gaswolke um die Kontakte in der Ausführung mit Doppelströmung für zwei verschiedene Zeitpunkte der Lichtbogenbildung. Idealerweise sollte das heiße Gas vom beweglichen Hauptkontakt weggeführt werden.

—
CFD ist ein weiteres Werkzeug für die Ursachenanalyse und die Sensitivitätsanalyse neuer Schaltanlagen-Designs.

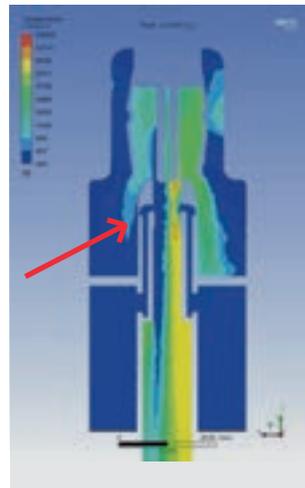
Das heißt, das Strömungsmuster des beim Unterbrechungsvorgang erzeugten heißen Gases muss so gestaltet werden, dass ein Wiederzünden in der dielektrischen Phase verhindert wird. Das Strömungsmuster lässt sich z. B. dadurch beeinflussen, dass man den festen Lichtbogenkontakt (Kontaktstift) teilt und den festen Hauptkontakt mit mehreren Kontaktelementen mit Druckentlastungsöffnungen versieht. Zudem sollten die Gasaustrittsöffnungen groß genug sein, damit kein heißes Gas zum Hauptkontakt strömt. Dabei dürfen sämtliche Veränderungen an den Kontakten nicht zu Lasten des erforderlichen Querschnitts des Hauptstrompfads gehen →07.



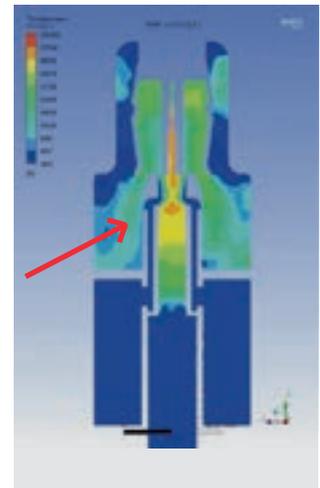
06a



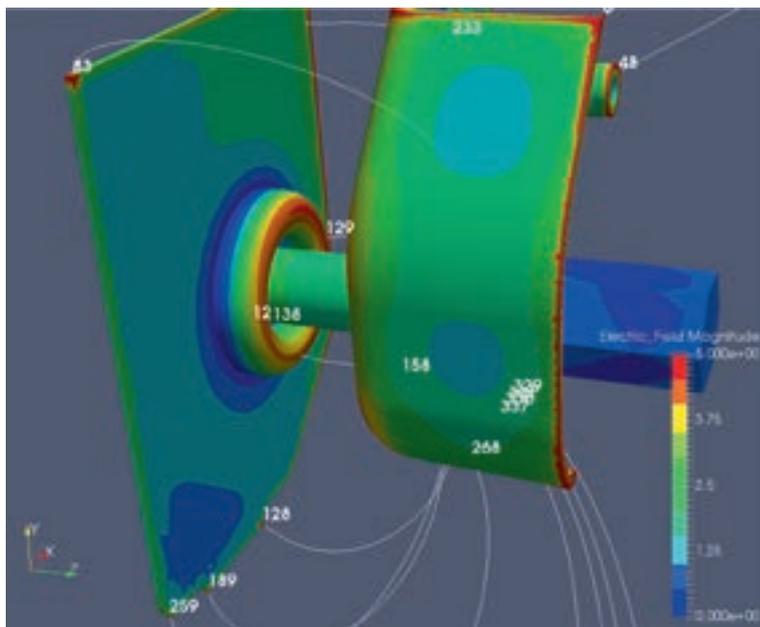
06b



07a



07b



08

05 Eine heiße Gaswolke vom Lichtbogen sammelt sich um den beweglichen Hauptkontakt und führt zu einer Wiedertzündung. Durch konstruktive Veränderungen kann das heiße Gas vom Hauptkontakt weggeführt und ein Wiederzünden verhindert werden.

06 Temperaturverteilung unmittelbar nach dem Stromnulldurchgang. Die Pfeile zeigen das Gas, das weggeführt wird.

06a Lichtbogenzeit = 5,25 ms.

06b Lichtbogenzeit = 13,3 ms.

07 Auswirkung des Austritts am Ende der Röhre auf die Heißgasansammlung um den Hauptkontakt unmittelbar vor dem Stromnulldurchgang. Das Doppelströmungsdesign reduziert die Ansammlung von heißem Gas um den Hauptkontakt.

07a Doppelströmung.

07b Einzelströmung.

08 Elektrische Feldbelastung in einem kritischen Bereich. Die Zahlen kennzeichnen die kritischen Punkte für die Datenextraktion. Die Farben geben die elektrische Feldstärke wieder.

Durch zusätzliche Öffnungen an den Feldsteuerelementen rund um die Schaltkammer werden das heiße Gas, die Dämpfe und die Abgase, die während des Lichtbogenereignisses entstehen, von Bereichen mit hoher elektrischer Feldbelastung weggeführt. Dies unterstützt nicht nur die Kühlung, sondern hilft auch dabei, die dielektrische Festigkeit des Gases auf dem zwischen den Phasen erforderlichen Niveau zu halten.

Dielektrisches Design

Obwohl Luft in Anwendungen wie einer Ringkabelschaltanlage nur etwa ein Drittel der dielektrischen Festigkeit von SF₆ bietet [3], sollte eine neue luftisolierte Schalteinheit nicht mehr Platz benötigen. Daher wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die elektrische Feldbelastung in der Nähe der Bauteile zu reduzieren [3]. Das Ergebnis sind sehr glatte Teile, die als Feldabschirmungen fungieren → 08. Neuartige Designs wurden realisiert, um Bereiche mit hoher Belastung an Tripelpunkten zu optimieren, an denen leitender Feststoff, isolierender Feststoff und isolierendes Gas zusammentreffen [4]. Schließlich erfüllte das ausgeklügelte Design des Blaskolbenschaltes sämtliche dielektrische Anforderungen gemäß gängigen Normen wie der IEC 62271-1 [5].

Literaturhinweise

[1] T. R. Bjørtuft et al.: „Dielectric and thermal challenges for next generation ring main units (RMU)“. CIREC 2013, Paper 0463.

[2] M. Hyrenbach et al.: „Alternative gas insulation in medium-voltage switchgear“. CIREC 2015, Paper 0587.

[3] M. Saxegaard et al.: „Dielectric properties of gases suitable for secondary medium-voltage switchgear“. CIREC 2015, Paper 0926.

[4] A. Blaszczyk et al.: „Virtuelles Hochspannungslabor“. ABB Review 2/2021, S. 52–57.

[5] IEC: „High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear“. IEC 62271-1 ed. 2.0, 2017.

[6] IEC: „High-voltage switchgear and controlgear – Part 103: Switches for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV“. IEC 62271-103 ed. 1.0, 2011.

Tests im Maßstab 1:1

Typprüfungen im realen Maßstab wurden an einer handelsüblichen Schaltanlage vom Typ ABB SafeRing/SafePlus Air gemäß IEC-Norm (Prüfschaltfolgen für Prüfungen mit Netzlast für die Klassen E3 und C2) für eine Bemessungsspannung von 12 kV bei einem Nennstrom von 630 A durchgeführt [6].

—
 Neue Designs helfen dabei, Bereiche mit hoher Belastung an Tripelpunkten zu optimieren.

Eine kostengünstige und einfach anzuwendende Alternative

Blaskolbenschaltes, die den durch die relative Bewegung von beweglichen und festen Kontakten erzeugten Gasstoß nutzen, sind aufgrund ihrer kompakten Größe, einfachen Bauweise und hervorragenden Unterbrechungseigenschaften in SF₆-Schaltanlagen weit verbreitet. Das Ausschaltvermögen eines Blaskolbenschaltes wird bestimmt durch das Zusammenspiel von Lichtbogen, Gaseigenschaften, Strömungsmuster, Druckaufbau und Geometrie. Bei alternativen Isoliergasen verbessert eine Staupunktströmung das Unterbrechungsvermögen im Vergleich zu einer einfachen Strömung. Das hervorragende Leistungsvermögen des hier beschriebenen neuen Schaltes macht ihn zu einer kostengünstigen und einfach anzuwendenden Alternative zu LTS mit Vakuum-Schaltkammer und ebnet den Weg für die nächste Generation von umweltfreundlichen Ringkabelschaltanlagen. •



ELEKTRISCHE ENERGIE

Rogowski-Sensoren für die Lichtbogen- erkennung

Das TVOC-2 Arc Guard System™ von ABB ist eines der schnellsten optischen Lichtbogenüberwachungssysteme auf dem Markt. Die optionale Stromwächtereinheit CSU-2 verhindert Fehlauslösungen durch Lichtphänomene, die nicht im Zusammenhang mit Störlichtbögen stehen →01.



01

—
Jemima Widforss
Jan-Peter Antin
ABB Electrification
Västerås, Schweden

jemima.widforss@
se.abb.com
jan-peter.antin@
se.abb.com

Michal Bures
ABB Electrification
Brünn, Tschechische
Republik

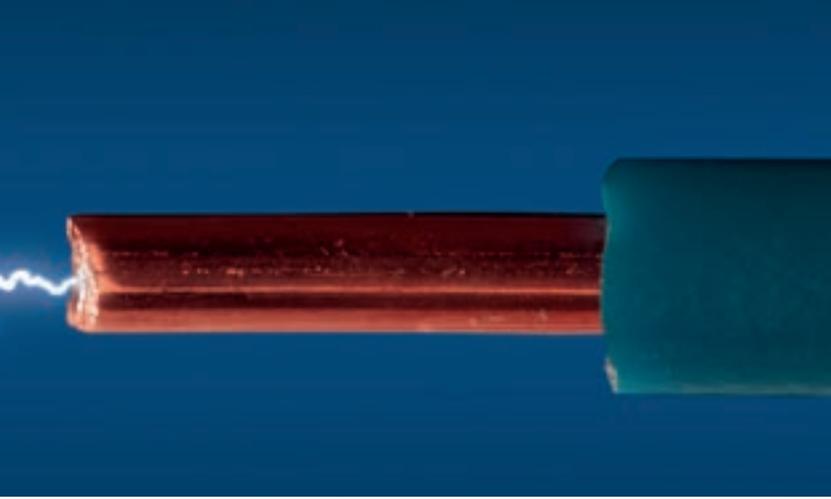
michal.bures@
cz.abb.com

Mit Temperaturen von über 10.000 °C, Stromdichten von bis zu 100 A/cm² und heftigen Druckwellen ist ein Störlichtbogen ein äußerst gefährliches und unerwünschtes Ereignis in einer elektrischen Anlage.

Die meisten Lichtbogenunfälle sind auf menschliches Fehlverhalten (z. B. bei Arbeiten an der Anlage), fehlerhafte Verbindungen oder das Eindringen von Tieren zurückzuführen. Meistens passieren Unfälle während Wartungs- oder Installationsarbeiten bei geöffneter Schranktür, wenn die erste Schutzbarriere von störlichtbogenfesten Schaltanlagen – starke Türen – neutralisiert ist.

Unfälle sind zwar selten, aber wenn sie passieren, sind sie schwerwiegend und können zu schweren oder gar tödlichen Verletzungen und teuren Schäden an der Ausrüstung führen. Und die Reparatur bzw. der Austausch der beschädigten Technik kann wiederum lange Ausfallzeiten mit sich bringen.

Damit gehören Störlichtbögen zu den Ereignissen, die um jeden Preis verhindert werden müssen. Ist dies nicht möglich, sollten zumindest die Folgen minimiert werden. Aus diesem Grund ist ein Lichtbogenüberwachungssystem ein unverzichtbarer Bestandteil eines modernen Schaltanlagendesigns.



— 01 Die Stromwächtereinheit CSU-2 von ABB.

— 02 Das ABB TVOC-2 Arc Guard System™.

Es wurde bereits viel getan, um die Folgen von Störlichtbögen zu mindern, und ABB bietet seit mehreren Jahrzehnten entsprechend wirksame Produkte an. Das ABB TVOC-2 Arc Guard System™ – die neue Version eines bewährten Lichtbogenüberwachungssystems, das seit über 35 Jahren Menschen und elektrische Anlagen vor gefährlichen Lichtbögen schützt – nutzt optische Sensoren zur Erkennung von Lichtbögen →02. Das TVOC-2-System lässt sich z. B. perfekt mit Leistungsschaltern vom Typ ABB Emax 2 zu einem reaktionsschnellen aktiven Schutzsystem kombinieren, das die Auswirkungen von internen Störlichtbögen begrenzt.

Das TVOC-2 Arc Guard System™ nutzt optische Sensoren zur Erkennung von Lichtbögen.

TVOC-2 Arc Guard System

Das TVOC-2 Arc Guard System nutzt optische Sensoren, die den Lichtstrom von elektrischen Lichtbogenphänomenen erfassen. Bei einer außergewöhnlich hohen Lichtintensität sendet TVOC-2 ein Abschaltsignal an den Leistungsschalter. Die Unterbrechung des Stroms sorgt dann dafür, dass der Lichtbogen nicht weiter mit elektrischer Energie aus dem Netz gespeist wird. Die Reaktionszeit für die Erkennung beträgt weniger als 1 ms. Beispiele für die Platzierung der optischen Detektoren sind in →03 dargestellt. Eine strategische Platzierung der Detektoren verhindert Überschneidungen zwischen den Erkennungszonen. Die Sensoren werden so kalibriert, dass sie die gleiche Lichtempfindlichkeit besitzen. Die spezielle Fischaugen-Optik sorgt für einen großen Überwachungswinkel, was die Ausrichtung erleichtert.

Die Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen wird durch den Einsatz von Glasfaserkabeln gewährleistet, die nicht nur gegen die mit einem Störlichtbogen einhergehenden elektromagnetischen Einflüsse immun sind, sondern auch eine schnellere Signalübertragung ermöglichen – schließlich zählt bei einem Lichtbogenereignis jede Mikrosekunde.

Um Fehlauflösungen durch Kamerablitz, Schweißarbeiten, Sonnenlicht usw. auszuschließen, kann das Lichtbogenüberwachungssystem mit einer Stromwächtereinheit kombiniert und so eingestellt werden, dass die Auslösung nur erfolgt, wenn auch ein Überstrom registriert wird. Hier kommt der Rogowski-Stromsensor ins Spiel.

ABB Rogowski-Stromsensoren

ABB entwickelt seit Jahrzehnten Stromsensoren auf der Basis von Rogowski-Spulen für den Einsatz in elektrischen Betriebsmitteln wie Schaltanlagen. Dieselbe Technologie bildet auch die Grundlage für die neue Stromwächtereinheit CSU-2 für das TVOC-2-System. Die CSU-2 erkennt den schnellen Stromanstieg, der mit Störlichtbögen einhergeht. Um Fehlauflösungen zu verhindern, schaltet das System den Leistungsschalter nur ab, wenn es einen Lichtbogen „sieht“ und die CSU-2 gleichzeitig einen Überstrom erfasst.

Die Rogowski-Spule wird um die jeweiligen Leiter herum angeordnet. Der durch die Leiter fließende Strom erzeugt ein Magnetfeld innerhalb der Spule und induziert eine Spannung in der Wicklung. Diese Spannung ist proportional zur ersten Ableitung des Primärstroms und liegt als Ausgangssignal am Sekundäranschluss an. Das Ansprechverhalten des Sensors ist über den gesamten Messbereich bis hin zu Kurzschlussströmen linear, d. h. der Sensor deckt einen viel größeren Bereich ab als der normalerweise verwendete Stromwandler.



02

Der Rogowski-Stromsensor bietet mehrere Vorteile gegenüber traditionelleren Verfahren.

Vorteile von Rogowski-Stromsensoren

Sensoren auf der Basis alternativer Prinzipien wie der Rogowski-Sensor werden zunehmend als Ersatz für herkömmliche Instrumente in Schaltanlagen und anderen elektrischen Installationen eingesetzt, um die Gerätegröße zu reduzieren, die Sicherheit zu erhöhen und eine bessere Standardisierung und größere Funktionalität zu ermöglichen.

Ein variables Klemmsystem für neue Installationen und eine Split-Core-Lösung mit teilbarem Spulenkörper für Nachrüstungen ermöglichen eine schnelle, einfache, sichere und zuverlässige Installation. Der Stromsensor wird über einen RJ45-Anschluss mit der CSU-2 verbunden. Eine grüne Anzeigelampe auf der CSU-2 zeigt an, dass die Verbindung sicher ist. Die Stromwächtereinheit überwacht kontinuierlich die Funktionalität der Rogowski-Spule, um eine schnelle und zuverlässige Überstromerkennung sicherzustellen.

Ein Stromsensor eignet sich für Nennströme von 100 A bis 4 kA und ist in der Lage, Spitzenströme von über 150 kA zu messen, ohne in die Sättigung zu gehen. Dank des breiten Messbereichs kann der gleiche Stromsensor für Anwendungen mit sehr unterschiedlichen Lasten wie z. B. Einspeise- und Abgangsleitungen verwendet werden. Dies bietet noch weitere Vorteile: Schaltanlagenbauer

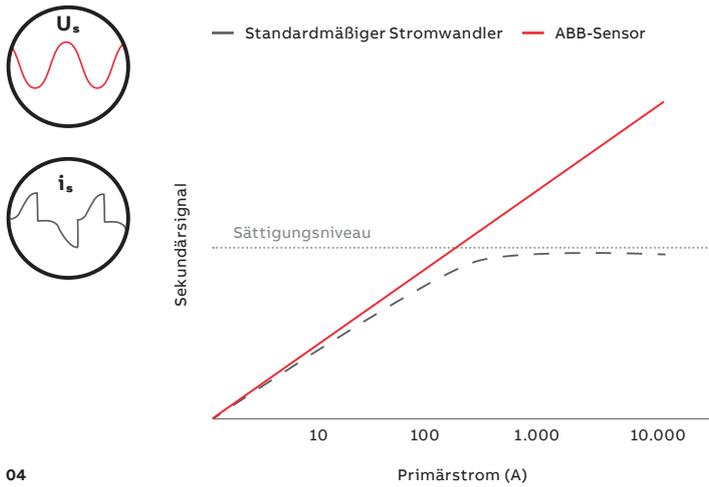
müssen weniger verschiedene Komponenten vorhalten, und die Austauschbarkeit von Teilen wird verbessert. Darüber hinaus können die gleichen Sensoren verwendet werden, wenn eine Unterstation für höhere Primärströme aufgerüstet werden soll.

—
Ein Stromsensor misst von 100 A bis 4 kA und Spitzenströme von über 150 kA, ohne in die Sättigung zu gehen.

Rogowski-Stromsensoren bieten nicht nur signifikante Platzeinsparungen im Vergleich zu standardmäßigen Stromwandlern, sie sind aufgrund ihres geringen Gewichts auch einfacher zu handhaben und zu lagern. Da sie keinen ferromagnetischen Kern besitzen, gibt es keine Leistungsverluste wie bei herkömmlichen Lösungen. So zeichnen sich die Sensoren durch einen extrem niedrigen Energieverbrauch aus, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit der Lösung auswirkt. Luftspulen weisen zudem keine magnetische Sättigung auf, die bei Stromwandlern mit ferromagnetischen Kernen ein großes Problem darstellt →04–05.

Die CSU-2 verwendet spezielle, werksseitig kalibrierte Rogowski-Stromsensoren, die eine





04

— 03 Strategische Platzierung der optischen Detektoren für eine optimale Abdeckung.

— 04 Bei der Linearität des Sensors tritt keine Sättigung und keine Verzerrung des Sekundärsignals auf.

— 05 Rogowski-Sensorelemente. Die Sensorspule umgibt den Leiter.

05a Mittelspannungsversion mit teilbarer Spule.

05b Mittelspannungsversion mit fester Spule.

05c Niederspannungsversion mit kleinem Spulendurchmesser.

05d Niederspannungsversion mit großem Spulendurchmesser.

schnelle und sichere Auslösung sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Strömen gewährleisten.

Sicherheit für elektrische Anlagen

Lichtbogenschutzsysteme werden immer mehr zu einem wesentlichen Bestandteil bei der Konstruktion von elektrischen Anlagen. Da sie dabei helfen, Schäden und Ausfallkosten zu reduzieren, fördern einige Versicherungsgesellschaften ihre Installation, indem sie reduzierte Prämien für Anlagen anbieten, die über solche Systeme verfügen. Auch in der Gesetzgebung wird der Schutz gegen Lichtbogenereignisse zunehmend verankert. So verlangt die Niederspannungsrichtlinie der Europäischen Union Maßnahmen zur Verhinderung von Schäden durch übermäßige Hitze, wie sie z. B. durch Störlichtbögen verursacht wird.

Die Kombination aus TVOC-2 Arc Guard System™ und der Stromwächtereinheit CSU-2 ermöglicht eine zuverlässige Störlichtbogenüberwachung in elektrischen Anlagen und sorgt so für das notwendige Maß an Sicherheit und Schutz für einen kontinuierlichen Betrieb. Der Rogowski-Stromsensor ist leicht zu installieren bzw. nachzurüsten und bietet eine langlebige Strommessung mit geringem Wartungsbedarf.

Mit einem Design, das auf jahrzehntelanger Erfahrung in der Minderung der Gefahren von Störlichtbögen basiert, bieten TVOC-2 und CSU-2 einen umfassenden Lichtbogenschutz und gewährleisten die Sicherheit von Personen auch bei geöffneter Schranktür. Die Kombination gehört zu den effektivsten und zuverlässigsten Lichtbogenschutzprodukten auf dem Markt. •



05a



05b



05c



05d



BUZZWORDS ENTSCHLÜSSELT

Smart Materials

Können Werkstoffe intelligent sein? Haben sie so etwas wie ein Erinnerungsvermögen? Die Antwort lautet „ja“!



Sebastian Breisch
ABB Process Automation,
Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

sebastian.breisch@
de.abb.com

Der Ausdruck „intelligent“ im Zusammenhang mit Werkstoffen rührt wahrscheinlich daher, dass diese keinesfalls fest und starr sind wie herkömmliche Werkstoffe, sondern ihre Form und Gestalt abhängig von äußeren Einflüssen wie Temperatur oder Magnetfelder veränderlich sind. Einige sind sogar in der Lage, sich an eine zuvor antrainierte Form zu „erinnern“. In der Praxis können diese Werkstoffe als Aktoren, Sensoren und auch zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Der jeweilige Einsatz erfordert in der Regel eine andere Ansteuerungselektronik, aber keine Veränderung des Materials an sich.

Folgende vier Klassen von intelligenten Werkstoffen werden bereits industriell genutzt oder stehen unmittelbar davor:

- Piezoelektrische Werkstoffe
- Thermische Formgedächtnislegierungen (FGLs)
- Magnetische Formgedächtnislegierungen (MSMs)
- Dielektrische Elastomere (DEs)

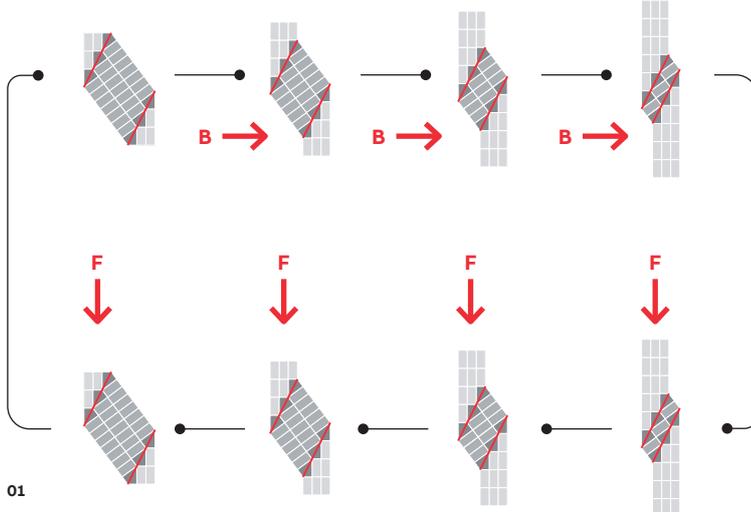
Davon sind die piezoelektrischen Werkstoffe am weitesten entwickelt. Sie kommen bereits in einer Vielzahl industrieller Anwendungen – insbesondere in der Automobilindustrie – zum Einsatz, was vielleicht ein Grund für ihre weite Verbreitung ist. Eine typische Anwendung sind Einspritzsysteme für Common-Rail-Motoren. Als Sensoren werden sie z. B. in Kraftsensoren und Wägezellen eingesetzt.

FGLs sind ebenfalls eine ausgereifte Technologie. Die bedeutendsten Anwendungen dieser Werkstoffklasse finden sich in der Medizin (z. B. Stents). Das durch die Medien wohl bekannteste Beispiel einer FGL ist eine Büroklammer aus einer Nickel-Titan-Legierung, die sich stark verformen lässt und bei Erwärmung durch eine Kerze oder Eintauchen in warmes Wasser in ihre ursprüngliche Form zurückkehrt. Dieses Verhalten ist darauf zurückzuführen, dass das Material je nach Temperatur zwei unterschiedliche Kristallstrukturen aufweist. Bei Umgebungstemperatur liegt das Material in seiner „kalten“ Kristallstruktur vor. Die „warme“ Struktur muss durch tausendfache thermomechanische Behandlungszyklen antrainiert werden. Wird das Material mechanisch verformt und anschließend über die Umwandlungstemperatur erwärmt, bei der sich die innere Kristallstruktur neu ausrichtet, „erinnert“ sich das Material an seine antrainierte Form und kehrt in diese zurück. Die Umwandlungstemperatur für Standardwerkstoffe liegt bei etwa 60 °C.

Einfache industrielle FGL-Aktoren bestehen aus einem dehnbaren Draht, der sich bei Erwärmung (z. B. durch Stromfluss) verkürzt. Wird ein entsprechend großer Durchmesser gewählt, können durch diese strukturelle Veränderung große Kräfte ausgeübt werden.

Die MSMs sind den FGLs ähnlich, sie reagieren aber nicht nur auf Temperatur, sondern auch auf Magnetfelder. Die Herstellung von

B: Äußeres Magnetfeld
F: Äußere Kraft



01

01 Das Anlegen eines äußeren Magnetfelds (B) führt zu einer proportionalen Verformung der gefalteten Kristallstruktur. In Standardanwendungen erfolgt die Rückführung in die ursprüngliche Form mithilfe einer externen Kraft (F).

MSM-Elementen ist anspruchsvoll, da das Gießen der erforderlichen monokristallinen Gussblöcke ein komplexer Vorgang ist. Beim Erstarren bildet sich innerhalb des Gussblocks eine gefaltete Kristallstruktur aus. Anschließend werden die MSM-Elemente als sogenannte „Sticks“ mit günstiger Ausrichtung der Faltung aus dem Block geschnitten. Die gefaltete, magnetisch polarisierte Kristallstruktur dieser Sticks ermöglicht eine Verformung des Materials unter Einfluss eines äußeren Magnetfelds →01.

Neben der Reaktion auf ein äußeres Magnetfeld zeigen MSMs auch die gleiche Reaktion auf Temperatur wie FGLs. Dies macht MSMs zur idealen Lösung für Anwendungen, die sowohl eine thermische als auch eine magnetische Reaktion erfordern, wie z. B. in Leitungsschutzschaltern.

Die letzte Klasse der oben aufgeführten intelligenten Werkstoffe sind DEs. Der Aufbau gleicht dem eines herkömmlichen Kondensators, jedoch ist zwischen zwei Elektrodenplatten ein elastisches Material angeordnet. Beim Anlegen einer Spannung ziehen sich die Platten gegenseitig an, wodurch das Elastomer zusammengedrückt wird. Diese Verformung ermöglicht eine Vielzahl von Aktorkonstruktionen. Als Sensor eingesetzt, sorgt jede Verformung des DE (der z. B. als Membran ausgeführt ist) für eine Veränderung der Kapazität, was wiederum eine genaue Verformungsmessung ermöglicht. Die ersten industriellen Produkte auf Basis dieses Prinzips sind bereits auf dem Markt.

Intelligente Werkstoffe bieten eine breite Funktionalität für verschiedene Aktor- und Sensoranwendungen, die sich im Vergleich zu alternativen Lösungen durch ein sehr einfaches Design mit wenigen Bauteilen auszeichnen •

ABONNEMENT

ABB Review abonnieren
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.

Die ABB Review erscheint viermal pro Jahr in Englisch, Französisch, Deutsch, Spanisch und Chinesisch und wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind.

Bleiben Sie auf dem Laufenden ...

Haben Sie eine ABB Review verpasst? Melden Sie sich unter abb.com/abbreview für unseren E-Mail-Benachrichtigungsservice an und verpassen Sie nie wieder eine Ausgabe.



Nach der Anmeldung erhalten Sie per E-Mail einen Bestätigungslink, über den Sie Ihre Anmeldung bestätigen müssen.

IMPRESSUM

Editorial Board

Theodor Swedjemark
Head of Corporate Communications

Adrienne Williams
Senior Sustainability Advisor

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation

Bernhard Eschermann
Chief Technology Officer, ABB Process Automation

Amina Hamidi
Chief Technology Officer, ABB Electrification

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

Herausgeber

Die ABB Review wird herausgegeben von der ABB-Gruppe.

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

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

Publisher and copyright ©2021
ABB Ltd.
Zürich, Schweiz

Druck

Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn, Österreich

Layout

Publik. Agentur für Kommunikation GmbH
Ludwigshafen, Deutschland

Satz

Konica Minolta
Marketing Services
London WC1V 7PB
Großbritannien

Übersetzung

Thore Speck
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

abb.com/abbreview



—
Vorschau 03/2021

Assets und Konnektivität

So, wie wir auf unsere Gesundheit achten müssen, um fit zu bleiben, muss sich ein Unternehmen um seine Anlagen kümmern, um seine Produktivität zu sichern. Die nächste Ausgabe der ABB Review befasst sich mit dem Thema Asset Health und zeigt, wie sich Kunden mithilfe von ABB auf den Zustand ihrer Anlagen verlassen können.