review

04|2018 de

Autonome Kollaboration

06 – 33 **Autonome Kollaboration**
34 – 41 **Partnerschaften**
42 – 61 **Inspektion und Messung**
62 – 75 **Energie**

Zustandsüberwachung von Förderbandrollen

Integrierte Lösungen für Gebäude

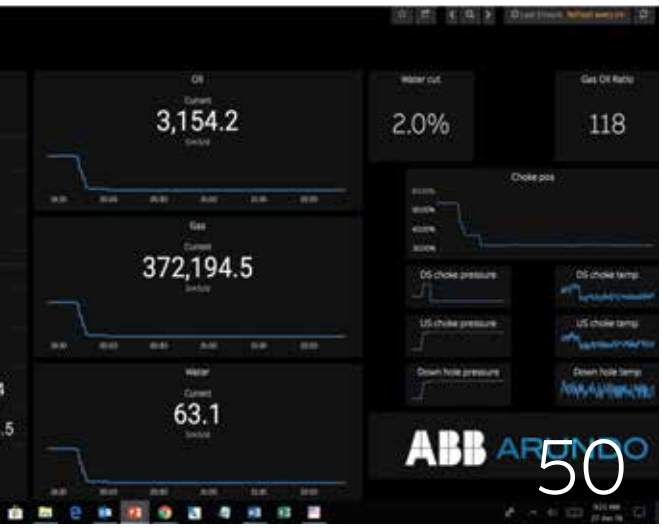
Kurzschlusswerte für Leistungsschalter

Digitale Zwillinge in der Industrie 4.0

Chancen für elektrische Sensoren

Kooperation mit Hochschulen

Individualisierung der Produktion



Cloudbasierte Mehrphasenmessung

05 **Editorial**

Autonome Kollaboration

08 **Autonome Systeme**
12 **Individualisierung der Produktion**
20 **Integrierte Lösungen für Gebäude**
27 **Digitale Zwillinge in der Industrie 4.0**

Partnerschaften

36 **Kooperation mit Hochschulen**

Inspektion und Messung

44 **Zustandsüberwachung von Förderbandrollen**
50 **Cloudbasierte Mehrphasenmessung**
54 **Chancen für elektrische Sensoren**

Energie

64 **Umbau von Drehstrom auf HGÜ**
70 **Kurzschlusswerte für Leistungsschalter**

Buzzwords entschlüsselt

76 **Text Mining**

77 **Impressum**

78 **Index 2018**

—

Eine mechanische Armbanduhr kann relativ lange unbeaufsichtigt laufen, aber sie passt sich nicht an unterschiedliche Temperaturen an, reagiert nicht auf Standortveränderungen oder besitzt die Intelligenz, um sich neu zu kalibrieren. Echte autonome Systeme hingegen sind darauf programmiert, sich auf Veränderungen einzustellen.
Diese Ausgabe der ABB Review befasst sich damit, wie solche Systeme funktionieren, sich entwickeln und Ergebnisse liefern.

Wie immer freuen wir uns über Ihr Feedback: abb.com/abbreview

EDITORIAL

Autonome Kollaboration

Liebe Leserin, lieber Leser,

Intelligenz wird bisweilen definiert als die Fähigkeit, sich an Veränderungen anzupassen. Ein fortschrittlicher Schachcomputer ist in der Lage, viele Züge vorauszudenken, und kann sogar die besten menschlichen Spieler schlagen. Aber er kann sich z. B. nicht an eine Änderung der Regeln oder der Ziele des Spiels anpassen.

Beim Übergang zu autonomen Systemen in der Fertigung und der Energiewirtschaft geht es nicht nur darum, komplexere Aufgaben zu lösen oder die zur Lösung der Aufgaben erforderliche Rechenleistung zu erhöhen. Vielmehr geht es darum, Systeme zu entwickeln, die in der Lage sind, sich an veränderte Situationen anzupassen und sogar zu lernen. So wird die schrittweise Erhöhung der Autonomie in Automatisierungssystemen deren Umfang und Reichweite erheblich vergrößern.

Ich hoffe, diese Ausgabe der ABB Review vermittelt Ihnen einen Eindruck von dem enormen Potenzial und den Möglichkeiten, die vor uns liegen.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Bazmi Husain
Chief Technology Officer

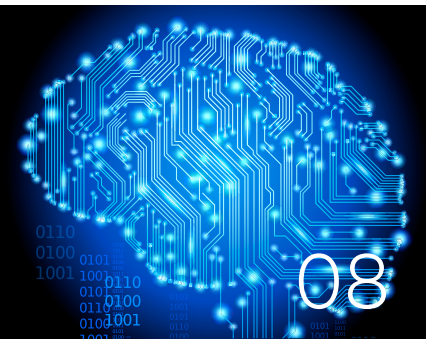
Autonom
Kollabora

e

tion

Ein Fertigungssystem, das sich selbst für individuelle Produktdesigns konfiguriert? Ein vereinheitlichtes Informationsmodell, das alle erforderlichen Informationen für die Gebäudeautomation beschreibt und strukturiert? Autonome Kollaboration kann Prozesse erheblich verändern, und ABB leistet Pionierarbeit auf diesem Gebiet.

08 Autonome Systeme
12 Individualisierung der Produktion
20 Eine integrierte Lösungsumgebung für die Gebäudeautomation
27 Digitaler Zwilling – eine bedeutende Softwarekomponente der Industrie 4.0



AUTONOME KOLLABORATION

Autonome Systeme

„Autonome Systeme“ ist ein Begriff, der häufig (und oft falsch) verwendet wird, um Systeme zu beschreiben, die – ohne manuellen Eingriff – in der Lage sind, ihr Verhalten während des Betriebs an unvorhergesehene Ereignisse anzupassen [1]. In diesem Artikel soll eine etwas umfassendere Definition vorgestellt werden. Dabei handelt es sich um eine Momentaufnahme laufender Arbeiten und einen Meinungsbeitrag im Hinblick auf industrielle Automatisierungssysteme.

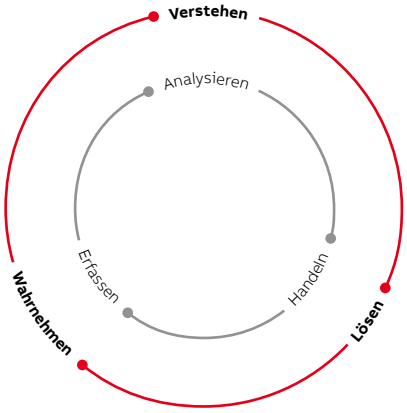
Thomas Gamer
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

thomas.gamer@de.abb.com

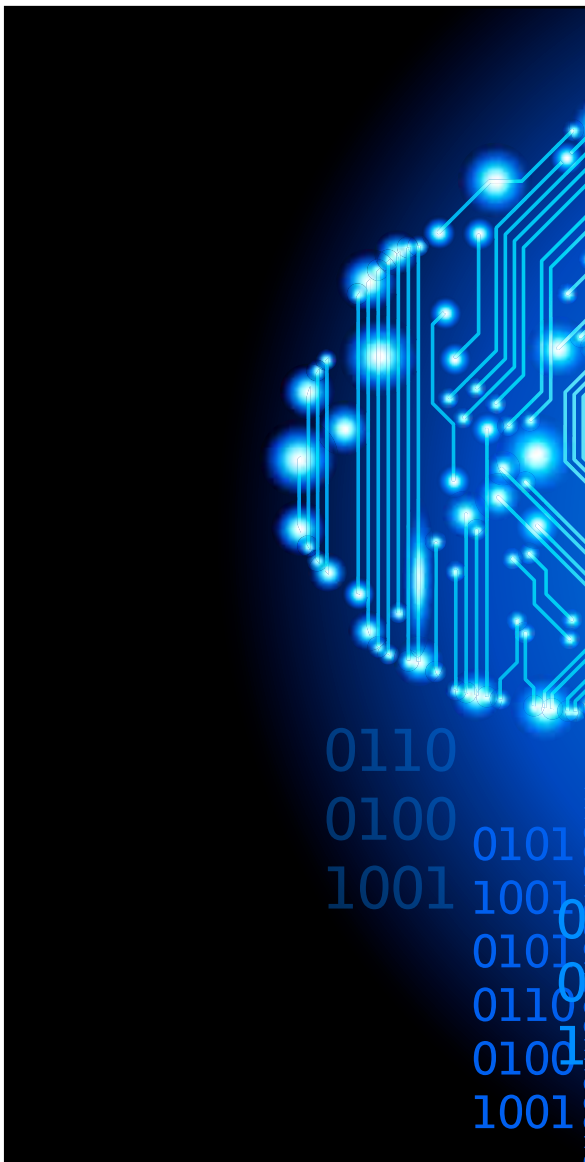
Alf Isaksson
ABB Corporate Research
Västerås, Schweden

alf.isaksson@se.abb.com

Ein System, das in Echtzeit auf wechselnde Eingaben reagiert, ist nichts Neues. Autos verfügen zum Beispiel bereits über ein beträchtliches Maß an einfacher Automatisierung wie elektronische Stabilitätskontrolle (ESC) oder Antiblockiersystem (ABS). Auch wenn die Algorithmen auf unzählige Eingaben reagieren können und eine erhebliche Komplexität erreichen, sind die Eingabedaten hochgradig strukturiert, und das Spektrum der möglichen Reaktionen ist begrenzt. Ein selbstfahrendes Auto hingegen muss Eingaben bewältigen, die deutlich weniger strukturiert sind und viel umfänglichere Reaktionen erfordern. So muss der Algorithmus nicht nur auf Fahrzeuge aller Art reagieren, die ihm begegnen könnten, sondern auch auf Fußgänger, Straßengeometrien, Witterungsbedingungen, unberechenbares Verhalten anderer und eine beliebige Zahl von Objekten und Ereignissen, die die Programmierer nicht vorhergesehen haben.



01



—
01 Regelkreise bei der klassischen Regelung (grau) und bei autonomen Systemen (rot).

Herkömmliche Automatisierungssysteme ermöglichen unter normalen Bedingungen die Ausführung einfacher Prozesse ohne menschlichen

—

KI ist ein technisches Mittel, durch das eine bestimmte Autonomie-Stufe erreicht werden kann.

Eingriff. Für komplexere Aufgaben sind weiterhin menschliche Entscheidungen notwendig. Sollen Automatisierungssysteme autonomer werden, müssen solche Aufgaben zunehmend an das System übertragen werden.

Konzeption eines autonomen Systems

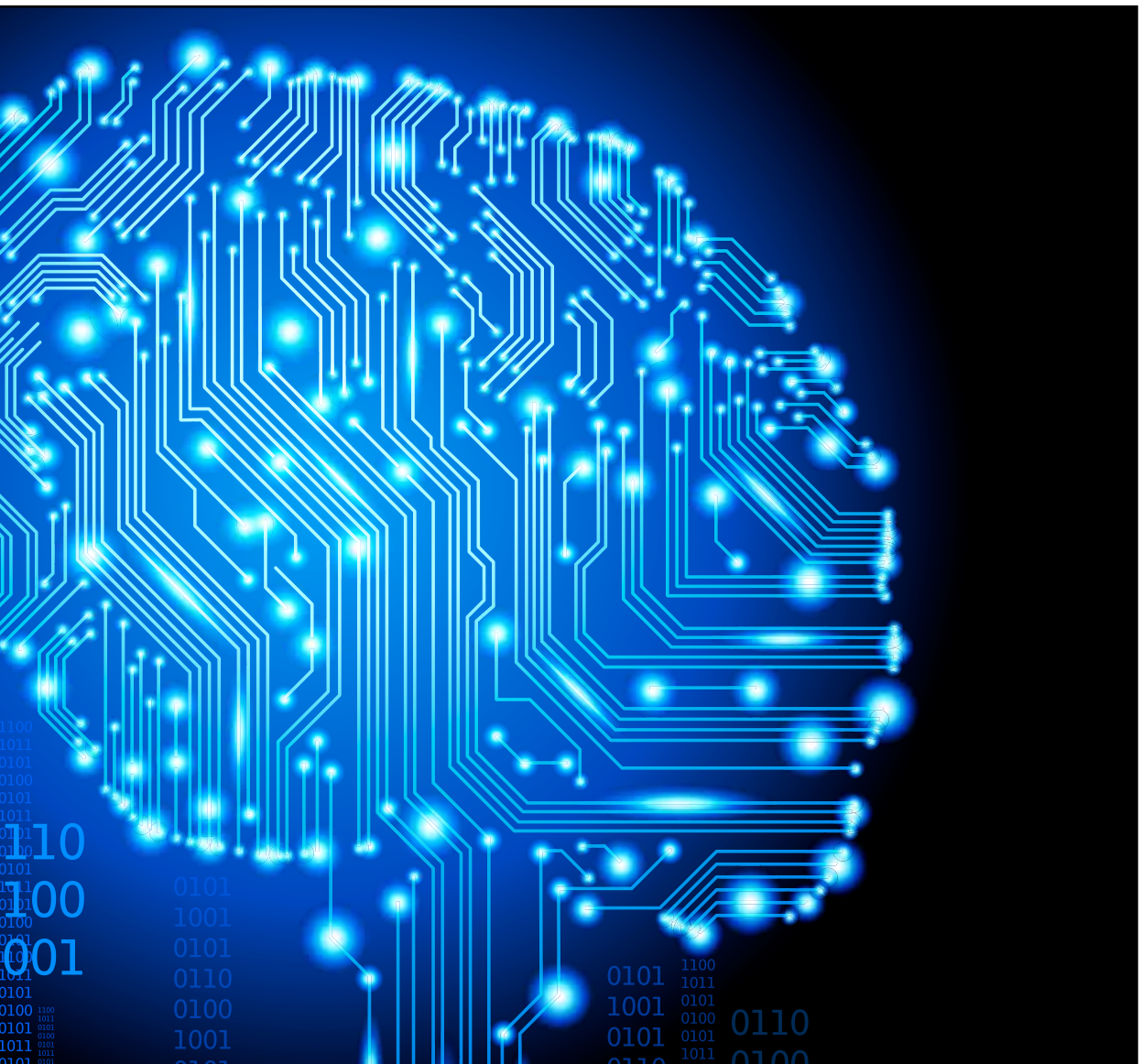
Viele der für eine stärkere Autonomie erforderlichen Eingaben stehen bereits digital zur Verfügung. Dazu gehören die Sensor- und Prozessdaten der klassischen Automatisierung, aber auch Eingaben aus zahlreichen anderen Quellen wie Überwachungskameras, Wetter- und Marktdaten.

—

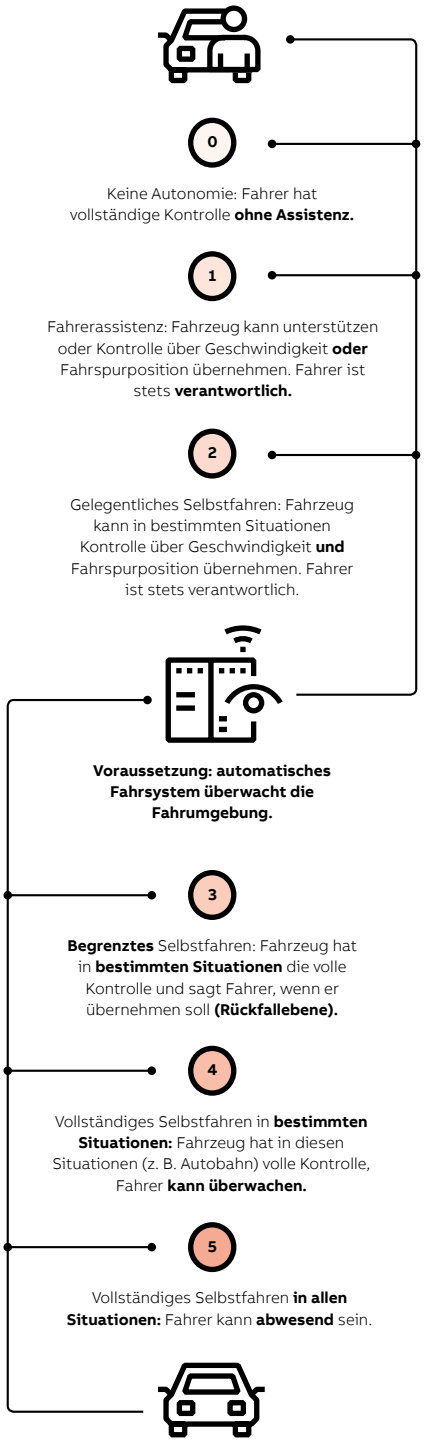
Viele der für einen autonomen Betrieb erforderlichen Eingaben stehen bereits digital zur Verfügung.

Künstliche Intelligenz (KI) ist eine wertvolle Technologie zur Verarbeitung dieser Daten. Allerdings wird KI leicht mit autonomen Systemen verwechselt. KI ist ein technisches Mittel, durch das eine bestimmte Autonomie-Stufe erreicht werden kann, und Autonomie ist das Ziel, dessen Erreichung KI unterstützen kann.

Typischerweise führt ein Automatisierungssystem genau definierte Anweisungen innerhalb eines begrenzten Betriebskontextes aus. Ein klassischer Regelkreis kann in die Phasen Erfassen, Analysieren und Handeln unterteilt werden. Läuft z. B. ein Motor zu schnell (Erfassen), entscheidet der Regler, dass die Drehzahl gesenkt werden muss (Analysieren), und reduziert entsprechend den Motorstrom (Handeln). Die Rückkopplungsschleife eines autonomen Systems fügt eine weitere Schale nach dem gleichen Prinzip, aber auf einer komplexeren Ebene hinzu,



02



0	Keine Autonomie. Mensch hat volle Kontrolle ohne Assistenz.
1	Assistenz bei Teilaufgaben. Mensch ist stets verantwortlich, gibt Sollwerte vor.
2	Zeitweise Autonomie in bestimmten Situationen. Mensch ist stets verantwortlich, gibt (Teil-)Ziele vor.
Voraussetzung: Automatisierungssystem überwacht Umgebung	
3	Abgegrenzte Autonomie in bestimmten Situationen. System warnt bei Problemen. Mensch bestätigt Lösungsvorschlag oder fungiert als Rückfallebene.
4	System hat volle Kontrolle in bestimmten Situationen. Mensch kann überwachen.
5	Autonomer Betrieb in allen Situationen. Mensch kann vollständig abwesend sein.

03

die auch Unbekanntes oder Unvorhergesehenes berücksichtigt →1. Ein selbstfahrendes Fahrzeug registriert ein Hindernis (Wahrnehmen), erkennt, dass eine potenziell gefährliche Situation entstehen kann (Verstehen), und greift korrigierend ein, indem es die Geschwindigkeit und den Fahrweg des Fahrzeugs anpasst (Lösen).

Künstliche Intelligenz ist ein technisches Mittel, durch das eine bestimmte Autonomie-Stufe erreicht werden kann.

Autonomie-Stufen

Wenn es darum geht, Ziele für den Übergang zu autonomen Systemen zu definieren, ist es wichtig, eine entsprechende Taxonomie festzulegen, sodass Anbieter von Automatisierungstechnik und deren Kunden definieren können, wo sie stehen und wohin sie kurz-, mittel- und langfristig möchten. In diesem Beitrag wird eine Taxonomie der Autonomie mit sechs Stufen vorgeschlagen, die von Definitionen aus der Automobilindustrie inspiriert ist →2–3. Die Taxonomie basiert hauptsächlich auf zwei Dimensionen: Umfang der automatisierten Aufgabe und Rolle des Menschen. Die Einteilung beginnt mit der Stufe 0 („keine Autonomie“, wobei eine umfangreiche einfache Automatisierung vorhanden sein kann) und reicht bis zum vollständig autonomen Betrieb (Stufe 5), bei dem die gesamte Entscheidungsfindung und Ausführung vom System übernommen wird.

Auf der Stufe 1 helfen Systeme beim Betrieb durch Entscheidungsunterstützung oder Remote-Unterstützung. Beispiele hierfür sind Softwarelösungen, die dabei helfen, Fahrzeuge in Untertagebergwerken zu lokalisieren, oder die Lageeinschätzung auf Schiffen mithilfe von LIDAR oder Radar unterstützen →4.

Die Stufe 2 umfasst zeitweise Autonomie in bestimmten Situationen. Hier übernimmt das Automatisierungssystem bei Bedarf und in dem gewünschten Umfang in bestimmten Situationen für eine begrenzte Zeit die Kontrolle. Der Mensch bleibt weiterhin stark involviert, indem er den Betriebszustand überwacht und die Betriebsziele für die vom System kontrollierte Situation festlegt. Ein Beispiel hierfür ist ein Autopilot für Schiffe, der bei Bedarf die Geschwindigkeitsregelung und Navigation entsprechend einer vorgegebenen Route übernimmt. Dabei bleibt der Kapitän aber weiterhin aktiv und trägt die volle Verantwortung.

—
02 Stufen von autonomen Systemen, veranschaulicht am Beispiel eines selbstfahrenden Autos.

—
03 Definition verschiedener Stufen von autonomen Systemen.

—
04 ABB Ability™ Marine Pilot Vision.

—
05 Roboter zum Einbringen von Sprengladungen in einem Untertagebergwerk. (Bild vom EU-Projekt SIMS).

—
Literaturhinweis
[1] David. P. Watson, David. H. Scheidt: „Autonomous Systems“. Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol. 26, No. 4, 2005.

Auf der Stufe 3 übernehmen automatisierte Systeme in bestimmten Situationen die Kontrolle. Dies kann als „abgegrenzte Autonomie“ bezeichnet werden. Der Mensch meldet sich sozusagen ab und bestätigt vorgeschlagene Lösungen oder fungiert als Rückfallebene. Eine Voraussetzung hierfür ist eine vollständige und automatische Überwachung der Umgebung. Ein Beispiel wäre das autonome Bohren und anschließende Einbringen von Sprengladungen in Untertagebergwerken →5. Bei solch einem System kann der (ortsferne) Bediener in außergewöhnlichen Situationen weiterhin alarmiert werden und die Kontrolle übernehmen bzw. eine vorgeschlagene Lösungsstrategie bestätigen.

—

In diesem Beitrag wird eine Taxonomie der Autonomie mit sechs Stufen vorgeschlagen.

Auf der Stufe 4 hat das System in bestimmten Situationen die volle Kontrolle und lernt aus seinen bisherigen Handlungen, um z. B. Probleme besser vorhersagen und lösen zu können. Ein Beispiel für eine solche Situation ist das autonome Anlegen eines Schiffs, bei dem der Kapitän höchstens eine überwachende Funktion hat.

Am oberen Ende der Taxonomie steht die Stufe 5. Hier verläuft der Betrieb in allen Situationen vollständig autonom. Es ist keine Nutzerinteraktion erforderlich, und der Mensch kann vollständig abwesend sein. Dies ist heute ein ambitioniertes Ziel, wobei z. B. ein selbstfahrendes elektrisches Bergbaufahrzeug zum autonomen Verladen des Erzes deutliche Vorteile in puncto Sicherheit und Produktivität bieten würde.

Zwischen den Stufen 0 bis 2 einerseits und 3 bis 5 andererseits gibt es eine wichtige Abgrenzung. In der ersten Gruppe besteht eine gewisse Fähigkeit zu autonomen Handlungen. Diese sind jedoch in ihrem Umfang begrenzt, und der Mensch hat jederzeit die aktive Kontrolle. Bei den höheren drei Stufen ist dies anders. Dort spielt der Mensch größtenteils eine passive Rolle.

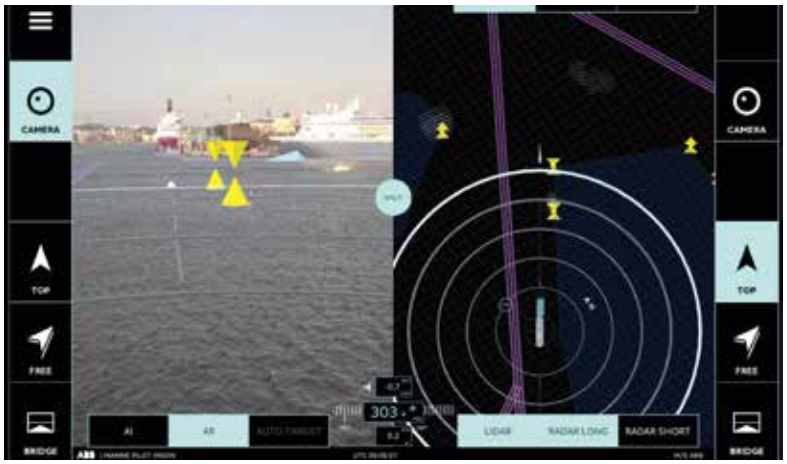
Die rechtlichen Fragen, die sich ergeben, wenn es zu Problemen mit autonom arbeitenden Systemen kommt, sind noch nicht vollständig geklärt. Hier gibt es Parallelen zu Unfällen mit selbstfahrenden Autos. Die rechtliche Situation und öffentliche Akzeptanz entwickeln sich derzeit noch.

Autonomie ist zunächst interessant in Anwendungen, die selbstfahrenden Autos ähnlich sind. Für ABB sind dies Schiffe, mobile Roboter, Hafenkräne sowie Bergbaufahrzeuge und -maschinen. Dabei ist davon auszugehen, dass die Autonomie auch in andere traditionelle ABB-Domänen wie Prozessindustrien, Stromnetze und Gebäude Einzug halten wird.

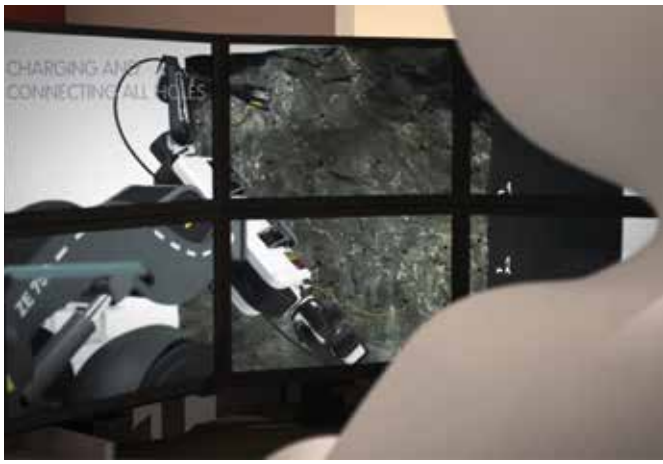
—

Die rechtlichen Fragen, die sich ergeben, wenn es zu Problemen mit autonom arbeitenden Systemen kommt, sind noch nicht vollständig geklärt.

Zurzeit wird an der Definition von detaillierten Autonomie-Stufen für alle oben genannten Anwendungen auf der Grundlage der hier vorgestellten Taxonomie gearbeitet. Neben der Funktion als taxonomisches Werkzeug können solche detaillierten Autonomie-Stufen Unternehmen dabei helfen, zu erkennen, auf welcher Stufe sie sich zurzeit befinden, auf welcher sie sein möchten und wo die Herausforderungen für einen Übergang liegen. Hierbei spielen die individuelle Akzeptanz von Lösungen einschließlich Aspekten wie Risiken, Nutzen, Haftung und die Ausgereiftheit der entsprechenden Technologie eine Rolle. ●



04



05

AUTONOME KOLLABORATION

Individualisierung der Produktion

Nach der individuellen Massenfertigung ist „Losgröße eins“ der neueste Trend in der diskreten Fertigung. Um kosteneffizient zu sein, müssen solche Produktionssysteme jedoch in der Lage sein, sich ohne menschliches Zutun für jedes Produktdesign selbst zu konfigurieren, und jedes einzelne Produkt muss von perfekter Qualität sein. Wie kann das erreicht werden?

Dirk Schulz
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

dirk.schulz@de.abb.com

Lars Simora
Busch-Jaeger Elektro
Lüdenscheid, Deutschland

lars.simora@de.abb.com

Vom Automobil bis zum Gebrauchsgut – die individuelle Massenfertigung ist Stand der Technik in der diskreten Fertigung. Ein Treiber der Industrie 4.0 (der aktuelle Trend zur Automatisierung und zum Datenaustausch in der Fertigungstechnik) ist die kostengünstige Fertigung hochgradig individualisierter Konsumgüter in kleinen Chargen – im wahrsten Sinne des Wortes bis hinunter zur Losgröße eins.

Ein gutes Beispiel für ein Produkt mit einer Losgröße von eins ist der ABB/Busch-tacteo® KNX Sensor[1] für intelligente Gebäude, dessen Funktionalität und Aussehen der Kunde selbst bestimmen kann [1]. Die Herstellung eines derart vollständig individualisierten Produkts ist mit zwei Hauptherausforderungen verbunden: Um kosteneffizient zu sein, muss das Produktionssystem in der Lage sein, sich ohne menschliches Zutun für jede Produktausführung selbst zu konfigurieren. Und da normalerweise keine Ersatzgeräte produziert werden, muss jedes einzelne Produkt von perfekter Qualität sein.

Bei der Konzeption der entsprechenden Produktionslinie stellte sich jedoch heraus, dass bewährte Integrationskonzepte nicht die erforderliche Flexibilität oder Qualitätslenkung bieten. Ermöglicht wurde die Umsetzung der Ziele schließlich durch den Einsatz von Konzepten der Industrie 4.0 wie digitalen Zwillingen [2] und M2M-(Machine-to-Machine-)Protokollen wie OPC UA[2] →1. Diese Konzepte wurden von ABB-internen Maschinenkonstrukteuren in Zusammenarbeit mit dem Systemintegrator neogramm GmbH erfolgreich realisiert.

ABB/Busch-tacteo KNX – das vollständig individualisierte Produkt
Der ABB/Busch-tacteo KNX Sensor ist ein kapazitiv berührungsempfindliches Bedienelement zur intelligenten Gebäudesteuerung in Luxushotels, Büros, öffentlichen Gebäuden und Wohnhäusern →2.

Die individuelle Massenfertigung ist bereits Stand der Technik in der diskreten Fertigung.

Der aus Glas gefertigte ABB/Busch-tacteo KNX erfüllt alle Ansprüche an ein modernes Design; er bietet erstklassige Qualität und vor allem höchsten Komfort für den Nutzer. Von Jalousien, Beleuchtung und Heizung über Medienwiedergabe bis hin zur Zutrittskontrolle – mit ABB/Busch-tacteo KNX lässt sich alles ganz einfach steuern.

01

—
01 Teil der Produktionslinie für das ABB/Busch-tacteo KNX Bedienelement für intelligente Gebäude. Während bewährte Produktionslinienkonzepte bei kleinen Losgrößen an ihre Grenzen stoßen, ermöglichen Konzepte der Industrie 4.0 wie digitale Zwillinge und M2M-Protokolle eine vollständige Flexibilität bis hin zur Losgröße eins.

—
Fußnote
1) Das Bedienelement wird in der Schweiz von ABB unter dem Namen ABB-tacteo KNX und in Deutschland und Österreich von Busch-Jaeger unter dem Namen Busch-tacteo KNX vertrieben.

Die Anzahl der vom Bedienelement bereitgestellten Funktionen ist variabel und wird von den Bedürfnissen und Wünschen des Kunden bestimmt. Jeder Sensor besitzt ein einzigartiges Design und einzigartige Funktionen und wird mithilfe eines benutzerfreundlichen Online-Konfigurators individuell konfiguriert.

Das bedeutet, der Verbraucher erhält direkte Kontrolle über das Design des Endprodukts, während die Stärken des traditionellen Wertschöpfungsnetzwerks →3 – in dem sich Großhändler um den Vertrieb und Installationsexperten um die Integration von Gebäudeautomatisierungsprodukten entsprechend den Anforderungen des Kunden kümmern – erhalten bleiben.

Ein Bedienelement besteht aus hochwertigen Glaspaneelen, auf denen die festgelegten Bediensymbole vor einem lichtdichten Hintergrund dargestellt werden, hinter dem sich die KNX-Elektronik befindet. Die Fertigung umfasst folgende Schritte →4: Nachdem die Paneele auf einem Träger platziert wurden, entfernt ein Nah-Infrarot-Laser (NIR-Laser) die lichtdichte Hintergrundbeschichtung entsprechend der Form der festgelegten Bediensymbole.

—

Der Verbraucher erhält direkte Kontrolle über das Design des Endprodukts, während die Stärken des traditionellen Wertschöpfungsnetzwerks erhalten bleiben.

Anschließend werden die transparenten Bereiche mit einem Digitaldrucker erneut beschichtet, um die für jedes Bediensymbol erforderliche Lichtdurchlässigkeit herzustellen. Nachdem die Farbe getrocknet ist, wird die Elektronik montiert. Danach wird das fertige Produkt einer Prüfung unterzogen, bevor es an den Großhandel versandt wird. Alle physischen, elektromechanischen und softwaretechnischen Merkmale des Produkts werden somit nach Kundenvorgabe individualisiert.

02

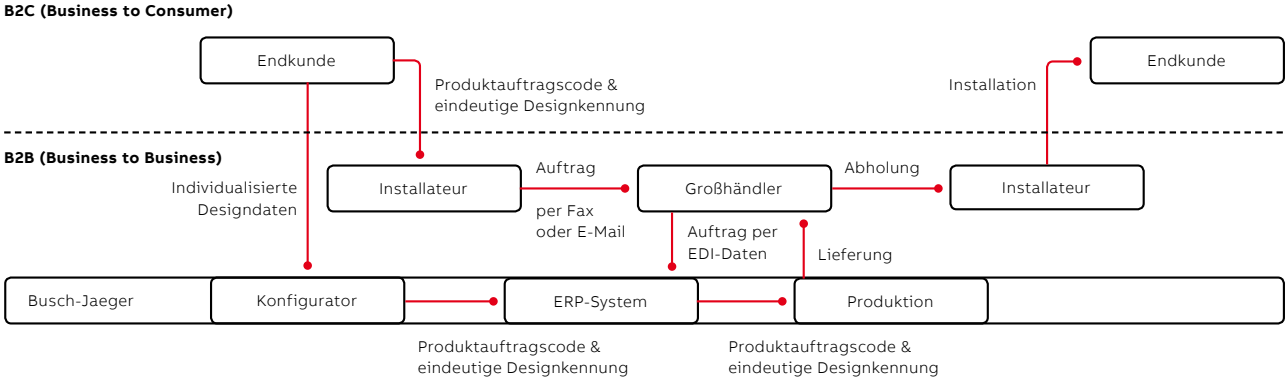
Qualität – Perfektion bei jedem Schritt
Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 werden zahlreiche Innovationen diskutiert, wie etwa autonome Maschinen, die die Produktionsplanung untereinander aushandeln, oder intelligente Produkte, die sich selbst durch den Produktionsprozess führen. Die erste Herausforderung besteht darin, zu entscheiden, welche Konzepte für eine bestimmte Produktionsumgebung nützlich sind.

> Bei der individualisierten Produktion ist es wichtig, dass Fehler im Produkt frühestmöglich erkannt bzw. gänzlich vermieden werden.

In Anbetracht der Gestaltungsfreiheit, die der Endkunde hat, ist jedes tacteo-Bedienelement potenziell ein einzigartiges Produkt. Dabei hat Qualität nicht nur höchste Priorität dem Kunden gegenüber, sondern sie ist auch eine große Herausforderung für den Hersteller, da bei einem Qualitätsproblem das komplette Element erneut hergestellt werden muss, was den Kundenauftrag verzögern kann.

Heutzutage ist mangelnde Digitalisierung ein Hauptfaktor, der Qualitätsprobleme begünstigt. Materialbeschaffung und -transport erfolgen häufig manuell auf der Grundlage von Bestelldaten auf Papier. Verwechslungen passieren leicht, sind aber schwer festzustellen. Designdaten stehen zwar in digitaler Form zur Verfügung, werden aber häufig manuell auf Wechselmedien an die Maschinen übertragen. Qualitätsrelevante Daten wie Kalibrierungseinstellungen für Maschinen werden nicht erfasst und können nicht überprüft werden, wenn sich bei der Qualitätsprüfung des fertigen Produkts Fehler ergeben.

Bei der individualisierten Produktion ist es wichtig, dass Fehler im Produkt frühestmöglich erkannt oder noch besser gänzlich vermieden werden. Eine individualisierte Produktion muss also nicht nur äußerst anpassungsfähig, sondern auch robust sein, und Menschen und Maschinen müssen nahtlos zusammenarbeiten, um den Qualitätsregelreis zu schließen.



03

—
02 ABB/Busch-tacteo KNX Sensor.

—
03 Integriertes Wertschöpfungsnetzwerk, verknüpft durch eindeutige globale Produkt- und Auftragsidentifizierung.

—
04 Fertigungsschritte für den ABB/Busch-tacteo KXN Sensor.
04a Glaspaneele auf dem Träger.
04b Laserbearbeitung.
04c Träger in Trockengestellen.
04d Manuelle Montage der Elektronik.
04e Montage der Elektronik an das Paneel.
04f Glas mit montierter Elektronik.

—
Fußnote
2) OPC Unified Architecture (UA) ist ein von der OPC Foundation entwickeltes Kommunikationsprotokoll für die Industrieautomatisierung. Was es von anderen M2M-Kommunikationsprotokollen unterscheidet, ist die Vielseitigkeit der Kommunikationsmuster (von Polling bis ereignisbasiert, von Punkt-zu-Punkt-Sessions zu Publish/Subscribe) und der Umfang, mit dem die Struktur und Semantik von Daten beschrieben werden können.

Vollständige Digitalisierung mit digitalen Zwillingen
Individualisierte Produktion baut im Kern auf zwei Voraussetzungen auf: adaptive Materialverarbeitung innerhalb der Maschinen und digitale Interoperabilität zwischen den Maschinen. Während Berarbeitungstechnologien wie NIR-Laser oder Digitaldrucker bereits existieren, muss den Maschinen erst noch beigebracht werden, wie sie auf natürliche Weise zusammenarbeiten können, um die erforderliche Effizienz und Qualität zu erreichen.

Heutzutage sind Maschinen fest verdrahtet oder durch SPS-Softwareprogramme miteinander gekoppelt. Dies ermöglicht zwar eine enge Integration, ist aber sehr aufwändig und lässt keine ausreichende Flexibilität für neue Produktvarianten jenseits der von vornherein vorgesehenen Ausführungen zu. Für eine wirklich adaptive Produktion ist eine Maschinenintegration mit einer viel loseren Kopplung erforderlich, sodass die gesamte Produktionslinie mit minimalem Aufwand flexibel umkonfiguriert werden kann.

Dies kann mithilfe von digitalen Zwillingen erreicht werden [2], die die besonderen Fähigkeiten jeder Maschine unabhängig von verdrahteten oder programmierten Verbindungen durch einheitliche Softwareschnittstellen am Netz verfügbar machen. Um „Medienbrüche“ zu vermeiden, werden auch Produktdesign-, Auftrags- und Qualitätsdaten auf die gleiche Weise repräsentiert. Die Idee dahinter

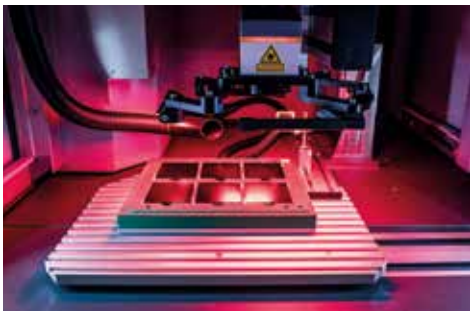
—

Jede Umkonfigurierung in der Software wird nahtlos in Produktionsschritte in der physischen Welt übersetzt, während Qualitätsinformationen in die Softwarewelt zurückgespiegelt werden.

ist, dass durch entsprechende Orchestrierung der digitalen Maschinenzwillinge auf der Basis des bestellten Produktdesigns jede Umkonfigurierung in der Software nahtlos in Produktionsschritte in der physischen Welt übersetzt wird.

Gleichzeitig werden Qualitätsinformationen in die Softwarewelt zurückgespiegelt.

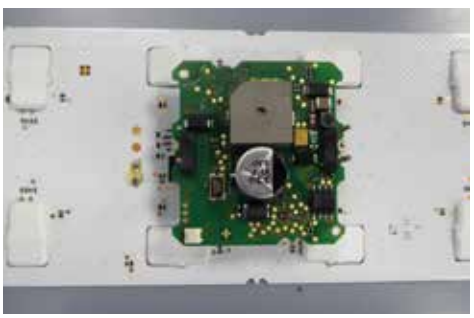
04a


04b

04c

04d

04e


04f

Unter Verwendung des Konzepts des digitalen Zwillings durchläuft das ABB/Busch-tacteo KNX Bedienelement nun jede Produktionsstation wie folgt: Zunächst wird das Glaspaneel bei Ankunft gescannt. Auf Basis seiner Identität erfolgt dann

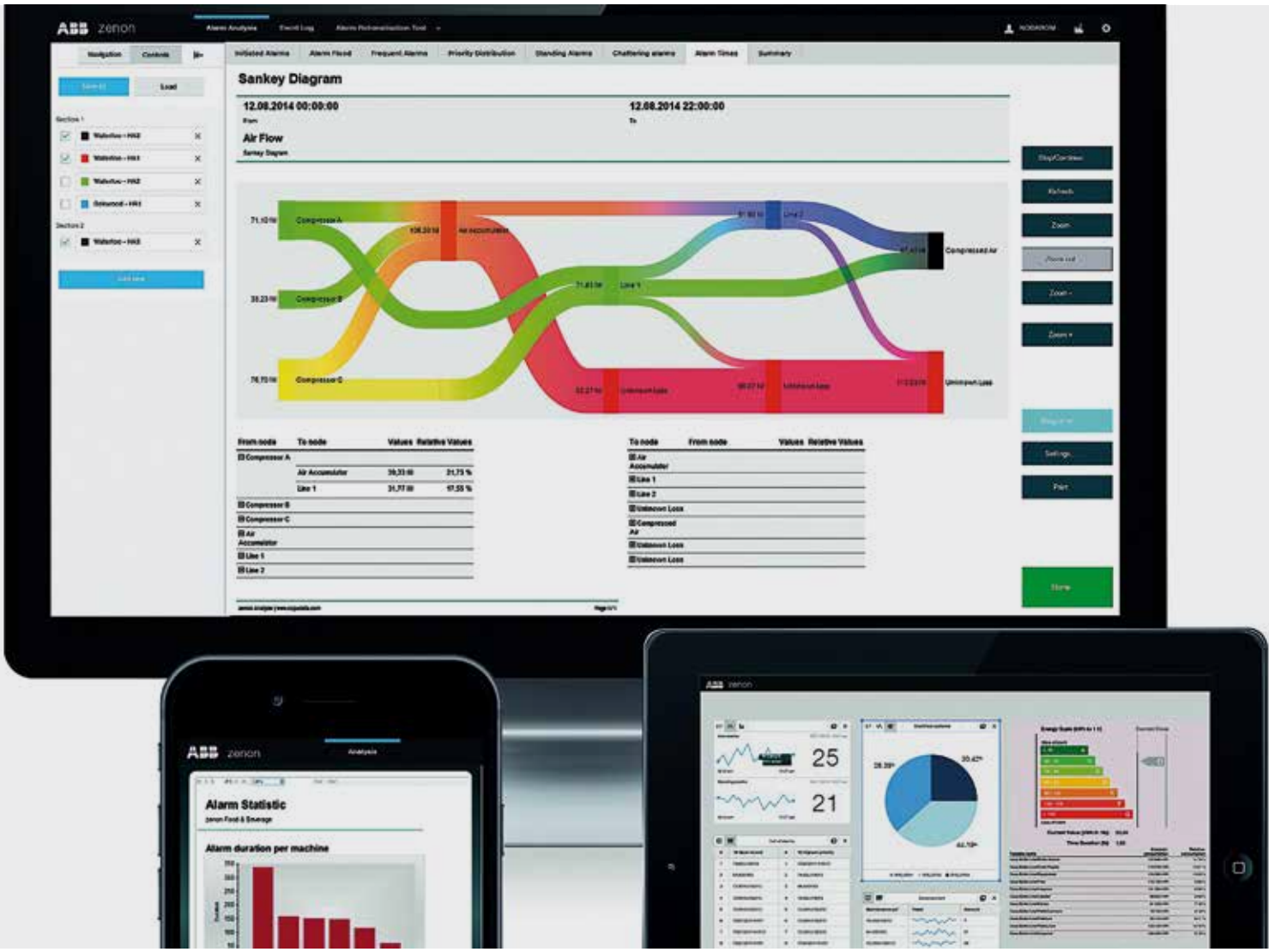
—

Zur Erstellung dieser digitalen Zwillinge wurde zuerst ein „top-down“ OPC-UA-Informationsmodell aus Sicht der Gesamtproduktionsschritte erstellt.

die Freigabe für den nächsten Produktionsschritt, und Designdaten sowie Prozessparameter können für die Station abgerufen werden. Dazu kontaktiert die Maschine einen vom ABB Ability™ Betriebsdatenmanagement-System (Manufacturing Operations Management, MOM) zenon →5 bereitgestellten Orchestrierungsservice, der das Produktrezept automatisch aus dem ERP repliziert und die Produktionshistorie des betreffenden Paneels verwaltet.

Nachdem das Glas bearbeitet wurde, wird der neue Produktionsstatus zusammen mit Maschinendaten für die Qualitätsverfolgung an den Orchestrierungsservice zurückgemeldet. Das Glas geht nun zur nächsten vom Betriebsmanagement angegebenen Station, die für das Produktionspersonal auf der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human-Machine-Interface, HMI) angezeigt wird. Bei normalen Fertigungsschritten interagiert der Mensch mithilfe eines standar-disierten ABB B&R[3] Automation Panel 900 mit der Maschine →5. Manuelle Schritte wie der Materialtransport werden elektronisch gelenkt und überwacht.

Wird z. B. ein Glaspaneel in den Drucker eingelegt, bevor es gelasert wurde, wird es abgelehnt und der menschliche Bediener wird angewiesen,



05a

—
05 Für die ABB/Busch-tacteo Industrie-4.0-Produktionslinie eingesetzte Produkte und Lösungen von ABB.

—
Fußnote
3) B&R steht für Bernecker + Rainer Industrie-Elektronik GmbH, den größten unabhängigen Anbieter mit dem Schwerpunkt produkt- und softwarebasierte offene Lösungen für Maschinen- und Fabrikautomatisierung weltweit. Durch die Übernahme von B&R im Juli 2017 ist ABB der einzige Hersteller von industrieller Automatisierungstechnik, der Kunden in der Fertigungs- und Prozessindustrie das ganze Spektrum an Technologie- und Softwarelösungen rund um Mess- und Steuerungssysteme, Antriebe, Robotik, Digitalisierung und Elektrifizierung anbietet.

es stattdessen zur Laserstation zu bringen. Werden Gläser außer der Reihe vom Laser zum Drucker transportiert, erhält der Drucker dennoch garantiert die richtigen Rasterdaten für die gelaserten Bediensymbole auf dem Glas. Vor

—

Qualitätsprobleme werden sofort behandelt, wenn sie auftreten. Fehlerhafte Produkte werden automatisch entfernt, und die Produktion des betreffenden Designs wird direkt neu gestartet.

dem Verlassen des Druckers werden die aktuellen Kalibrierungsdaten für das betreffende Glas erfasst. Das Gleiche gilt für die Kalibrierung der Helligkeit der Bediensymbole beim automatischen Testen. Auf diese Weise können Qualitätsmängel auf die mögliche Ursache – z. B. Probleme mit den Maschinen oder suboptimale Prozessparameter – zurückgeführt werden. Vor allem aber werden Qualitätsprobleme sofort behandelt, wenn sie auftreten. Fehlerhafte Produkte werden automatisch entfernt, und die Produktion des betreffenden Designs wird direkt neu gestartet.

Damit Maschinen, Services und Menschen wie beschrieben zusammenarbeiten können, werden Maschinen und ihre digitalen Zwillinge aus einer einheitlichen Designvorlage abgeleitet →6. Maschinen, die auf dieser Vorlage basieren, lassen sich zudem leichter hinzufügen oder ersetzen, da sie sich auf natürliche Weise in das vorhandene Produktionssystem einfügen.

Bei diesem Produktionskonzept kann das ABB/Busch-tacteo KNX Bedienelement als „intelligentes Produkt“ bezeichnet werden: Die Identität eines Glases steuert seine eigene Produktion, und der beschriebene Ablauf ermöglichst eine geschlossene Qualitätsregelung auf Basis des globalen Produktgedächtnisses.

Die ABB Ability™ MOM-Software zenon bietet sichere Überwachung, Bedienung, Prüfung, Datenerfassung, Planung und Berichterstellung für Fertigungsanlagen und ist von einzelnen Maschinen bis zu kompletten Produktionslinien skalierbar. Beim ABB/Busch-tacteo-Projekt werden die Überwachungs- und Steuerungsfunktionalitäten sowie die eingebaute OPC-UA-Konnektivität von zenon zur Steuerung der Produktionslinie genutzt.

Die SPS-Baureihe ABB AC500 bietet eine zuverlässige und leistungsstarke Plattform zur Entwicklung skalierbarer, kostengünstiger und flexibler Automatisierungslösungen. Beim ABB/Busch-tacteo-Projekt stellt die SPS den digitalen Maschinenzwilling bereit und bietet eine kostengünstige Möglichkeit, um bestehende Maschinen wie den NIR-Laser hinter einem OPC-UA-Gateway einzukapseln.

05b

Das ABB B&R Automation Panel 900 ist eine industrielle Bedienschnittstelle, die höchste Qualitätsansprüche erfüllt. Beim ABB/Busch-tacteo-Projekt ist das Automation Panel 900 die Standardschnittstelle für die Mensch-Maschine-Kollaboration an allen Hauptstationen der Produktion.

05c

—
06 Vorlagenbausteine für eine physische Maschine und ihren digitalen Zwilling unter Verwendung von OPC UA.

—
07 Materialfluss und servicebasierte Maschine-zu-Maschine-Kommunikation mithilfe digitaler Zwillinge. Der zentrale Aspekt ist, dass Services und Maschinen mithilfe ihrer digitalen Zwillinge über ein „Internet der Dinge“ kollaborieren, sodass alle mithilfe der gleichen Methoden wie ihre „physischen Zwillinge“ im Netzwerk interagieren.

Konzeption der digitalen Zwillinge

Der beschriebene Produktionsprozess ist abhängig von einer Mischung sehr unterschiedlicher Daten: Einige beziehen sich auf das Produktdesign, einige auf das hergestellte Produkt, einige auf eine bestimmte Maschine und andere wiederum beschreiben Informationen, die allen Produkten oder Maschinen gemein sind.

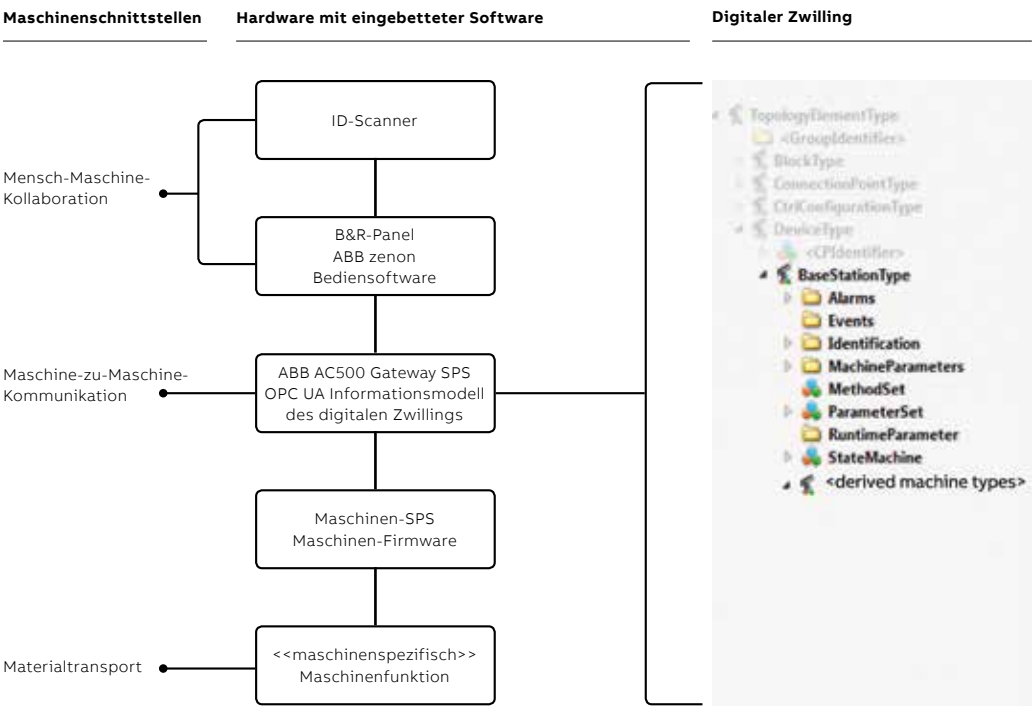
—

Hierzu muss Spezialmaschinen beigebracht werden, wie sie bereits im Auslieferungszustand nahtlos zusammenarbeiten können.

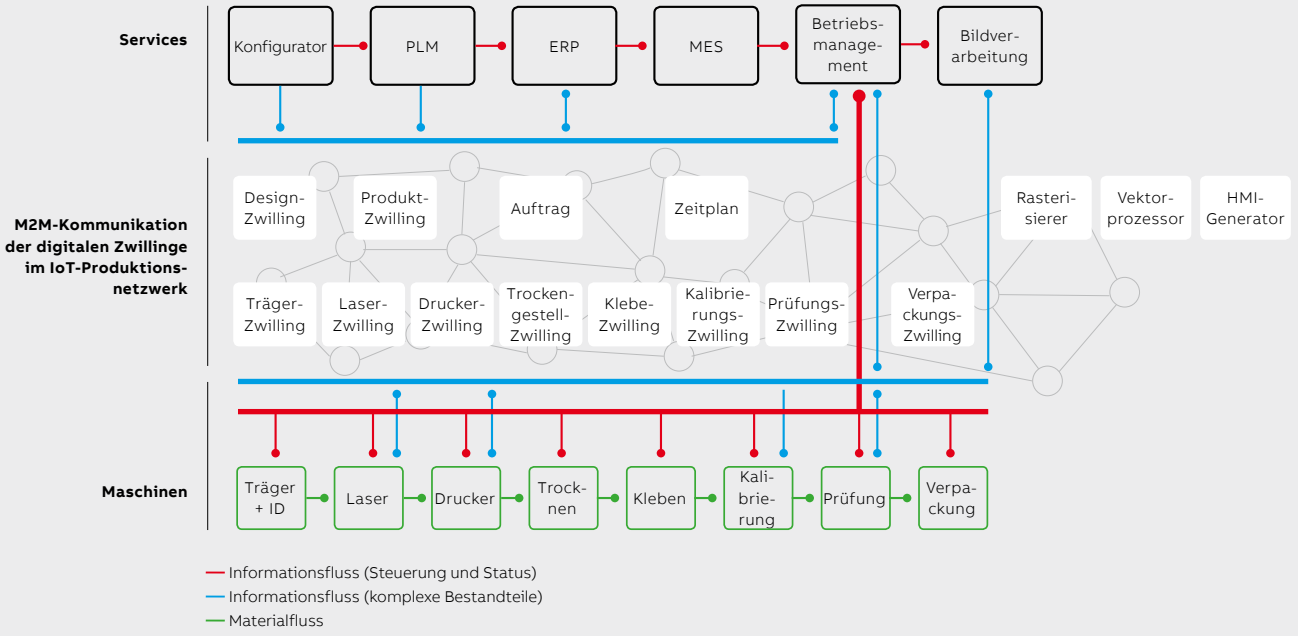
So gibt es für jedes Produktdesign maschinenunabhängige Eigenschaften wie das Layout der Bediensymbole, generische Maschineneigenschaften wie der aktuelle Betriebszustand und Eigenschaften wie die Kalibrierungsdaten des Druckers, die maschinenspezifisch, aber nicht produktabhängig sind. Das Produktdesign wird in maschinenspezifische Teilmodelle, wie z. B. gerasterte Bediensymbole, übersetzt.

Außerdem gibt es Testergebnisse für jedes gefertigte Produkt.

Die beste Vorgehensweise zur Erstellung dieser digitalen Zwillinge bestand darin, zuerst ein „top-down“ OPC-UA-Informationsmodell aus Sicht der Gesamtproduktionsschritte zu erstellen (vgl. Darstellung in der Mitte von →7). Erst in einem nächsten Schritt wurde das Modell unterteilt und seine Teile den einzelnen Maschinen und Softwareservices zugeordnet. Die beste Methode, um vorhandene Maschinen mit diesem Modell „nachzurüsten“, bestand darin, diese unter Verwendung einer SPS vom Typ ABB AC500 →5 als eingebettetes OPC-UA-Gateway einzukapseln. Hierzu war eine enge Zusammenarbeit zwischen Informationsdesignern, dem Integrator und den verschiedenen Maschinenbauern erforderlich, um sicherzustellen, dass die realen Maschinen in der Fabrik einfach zum gewünschten Produktionssystem zusammengefügt werden konnten.



06



07

—
Literaturhinweise
[1] „ABB-tacteo KNX sensor". Verfügbar unter: https://new.abb.com/buildings/tacteo

[2] „Digitaler Zwilling – eine bedeutende Softwarekomponente der Industrie 4.0" auf S. 27–33 dieser Ausgabe der ABB Review.

Industrie 4.0 für alle

Die Konzeption der Produktionslinie für den ABB/Busch-tacteo lieferte unmittelbare Einblicke in die Bedürfnisse von Maschinenbauern und Produktionsdesignern auf dem Weg zur Industrie 4.0. Insbesondere bei der individualisierten Produktion stellen eine geschlossene Qualitätsregelung und automatisierte Umkonfigurierung die Hauptherausforderungen für eine Automatisierungslösung dar. Diese Herausforderungen können mithilfe von Konzepten der Industrie 4.0 wie digitalen Zwillingen, intelligenten Produkten und M2M-Technologien wie OPC UA bewältigt werden.

Während für eine individualisierte Produktion heute noch erhebliche Anfangsinvestitionen erforderlich sind, sollte die Wettbewerbsfähigkeit zukünftiger Lösungen mit festen jährlichen Investitionsbudgets gewährleistet sein.

Hierzu muss Spezialmaschinen beigebracht werden, wie sie „out of the box", also bereits im Auslieferungszustand nahtlos zusammenarbeiten können. Dazu müssen Automatisierungsanbieter die Prozesse, Tools und Standards bereitstellen, die es Produktionsdesignern, Maschinenbauern und Integratoren problemlos ermöglichen, ihre digitalen Zwillinge unabhängig voneinander zu erstellen und bereits virtuelle Integrationstests durchzuführen, bevor die physischen Maschinen überhaupt gebaut und in der Fabrik in Betrieb genommen werden.

—

Die Vision ist es, Industrie 4.0 nicht als Premiumprodukt, sondern als Standardlösung anzubieten, die auf jede Art von Produktion anwendbar ist.

Zurzeit sind Premiumprodukte wie das ABB/Busch-tacteo Bedienelement willkommene Gelegenheiten, die dabei helfen, diese Art der Innovation voranzutreiben. Die Vision jedoch ist es, Industrie 4.0 nicht als Premiumprodukt, sondern als Standardlösung anzubieten, die auf jede Art von Produktion – von großen Fabriken bis hin zu kleinen und mittleren Unternehmen – anwendbar ist. ●

AUTONOME KOLLABORATION

Eine integrierte Lösungsumgebung für die Gebäude-automation

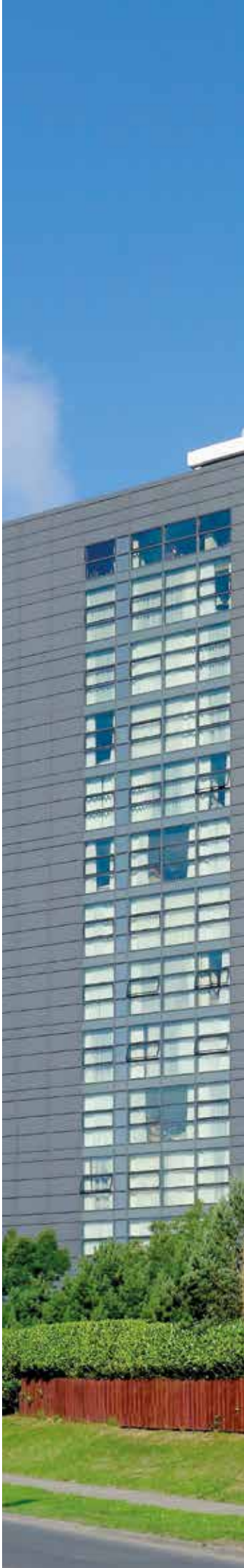
Durchgängige digitale Workflows und eine einheitliche Informationsmodellierung sind wichtige Voraussetzungen für effiziente Arbeitsabläufe, Werkzeuge und Lösungen in der modernen Gebäudeautomation. Wie können neue Konzepte und technische Machbarkeitsstudien in diesem Bereich beim Übergang in das digitale Zeitalter und bei der Vereinfachung der Gebäudeautomation helfen?

Thomas Gamer
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

thomas.gamer@
de.abb.com

Die Gebäudeautomation bzw. intelligente Gebäudetechnologie ist ein rasch wachsender Markt, auf dem ABB z. B. mit Produkten auf der Basis von KNX [1], dem weltweit ersten offenen Standard zur Steuerung von intelligenten Industrie-, Gewerbe- und Privathäusern, hervorragend positioniert ist. Auch in der Gebäudeelektrifizierung ist ABB stark, was es dem Unternehmen ermöglicht, Automations- und Stromversorgungslösungen in einem integrierten Paket anzubieten. In Zukunft werden andere Bereiche wie Interaktion mit Stromnetzen, lokale Stromerzeugung und Elektromobilität enger mit dem Gebäude verbunden sein, das als zentraler Aggregator für digitale Informationen und Lösungen fungiert.

Allerdings haben Gewerbegebäude wie Bürohäuser, Hotels oder auch Schulen, die häufig Tausende von Gebäudeautomationsgeräten beinhalten, typischerweise nicht viele Gemeinsamkeiten, was die Gebäudeautomation und die Elektrifizierung angeht. Diese Individualität und die damit verbundene Komplexität machen die Planung, das Engineering, den



01

Bau, die Inbetriebnahme, den Betrieb und die Instandhaltung eines Gebäudes teuer. Die bei Gewerbegebäuden nicht unübliche Integration von verschiedenen Technologien und Geräten verschiedener Hersteller erhöht die Komplexität zusätzlich →1–2.

Gewerbegebäude beinhalten häufig Tausende von Automationsgeräten und haben nicht viele Gemeinsamkeiten, was die Gebäudeautomation und die Elektrifizierung angeht.

Außerdem gibt es über die Lebensdauer eines Gebäudes hinweg neben dem Eigentümer bzw. Nutzer noch mehr beteiligte Rollen – z. B. technische Berater, Systemintegratoren, Installateure und Objektmanager. Diese sind häufig ABB-Kunden und müssen sich ebenfalls nicht nur auf die zunehmende Komplexität einstellen, sondern sich auch mit Zeitdruck, ineffizienten Tools, Kundenforderungen nach offenen Ökosystemen oder neuen Vorschriften auseinandersetzen.

Dies wirft die Frage auf, welche Arbeitsabläufe, Tools und Technologien in der Gebäudeautomation eingesetzt werden können, um all diese Herausforderungen zu bewältigen und besser integrierte, zeitsparendere Lösungen und offene Schnittstellen zu unterstützen.

Herausforderungen und Nutzen

Um diese Frage zu beantworten, hat ABB ein Forschungsprojekt ins Leben gerufen, das sich schwerpunktmäßig mit den frühen Lebenszyklusphasen der Automation von Gewerbegebäuden befasst →3. Dies umfasst die zuvor genannten Herausforderungen und somit viele Problembereiche von ABB-Kunden. Viele Aspekte der Arbeit gelten auch für intelligente Wohnhäuser (Smart Homes).

Bedeutende Kundenanforderungen in dieser Lebenszyklusphase der Gebäudeautomation sind:

- Nutzung einer funktionsbasierten Spezifikation
- Unterstützung von technologie- und herstellerübergreifenden Projekten
- Sicherstellung der Kontinuität von Arbeitsabläufen vom Entwurf bis zum Betrieb ohne Informationsverlust oder die Notwendigkeit von manuellen Tätigkeiten
- Entwicklung in Richtung offener, aber funktional integrierter Ökosysteme

Funktionsbasierte Spezifikation bedeutet, dass während der Planungsphase die Funktionalität der Gebäudeautomation unabhängig von Technologien, Herstellern, Geräten usw. festgelegt wird. Eine solche Spezifikation basiert häufig z. B. auf der VDI-Richtlinie 3813 [2] für Raumautomationsfunktionen.

Ein offenes Ökosystem garantiert Interoperabilität und ist gleichzeitig flexibel und erweiterbar für neue Technologien oder Technologie-Allianzen.

Die meisten Eigentümer von Gebäuden – und damit auch technische Berater und Integratoren – möchten die bestmöglichen Lösungen miteinander kombinieren, um die gewünschte Automationsfunktionalität zu erreichen. So kann es sein, dass unterschiedliche Technologien gewählt werden – z. B. KNX für die Raumautomation, BACnet für die zentrale Heizung und Lüftung und ZigBee für Nachrüstungen oder Installationsorte, deren Verkabelung sehr teuer ist. Außerdem werden vielleicht unterschiedliche Hersteller für verschiedene Gerätetypen gewählt.

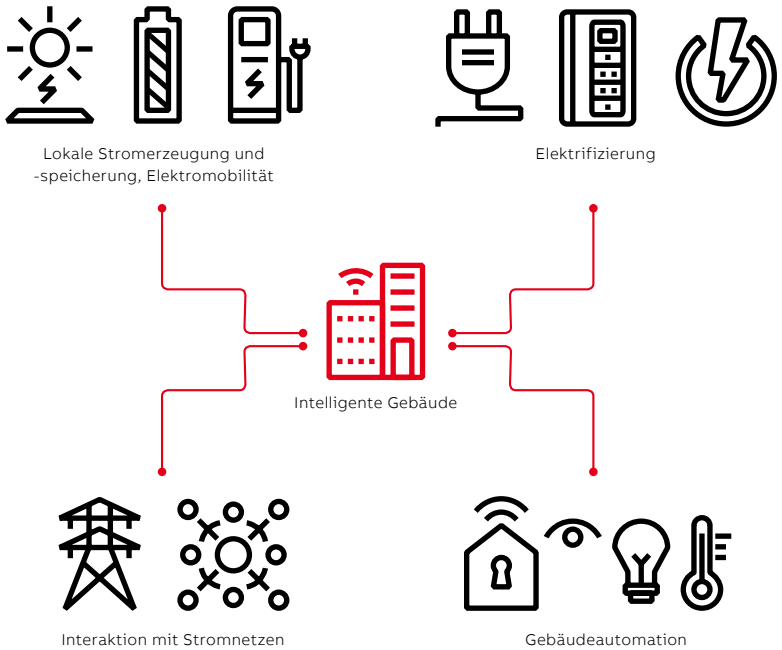
Die Kontinuität von Arbeitsabläufen beinhaltet mehrere Aspekte:

- Zurzeit werden von der Planung bis zum Betrieb mehrere Tools eingesetzt, die häufig keine wohldefinierten Schnittstellen besitzen.
- Die Übergabe zwischen einzelnen Rollen erfolgt häufig mithilfe von Papier- oder PDF-Dokumenten und kann nicht automatisch verarbeitet werden.
- Usability ist häufig ein Thema, insbesondere wenn mehrere Technologien und Geräte von mehreren Herstellern – oft über mehrere Tools hinweg – integriert werden müssen.

Ein offenes Ökosystem unterstützt die Kontinuität von Arbeitsabläufen, denn es garantiert Interoperabilität und ist gleichzeitig flexibel und erweiterbar für neue Technologien oder Technologie-Allianzen.

Die aus dem Forschungsprojekt hervorgegangene, von ABB vorgeschlagene Lösung bietet folgende Kundenvorteile:

- Funktionsspezifikationen auf der Basis von Standards
- Zeitersparnis durch Automation möglichst vieler Schritte
- eine durchgängige Toolkette und ein vereinheitlichtes Informationsmodell zur Vermeidung fehleranfälliger manueller Tätigkeiten
- ein Gerätebeschreibungskonzept mit einer standardisierten Möglichkeit zur Integration von Geräten mit verschiedenen Technologien von verschiedenen Herstellern

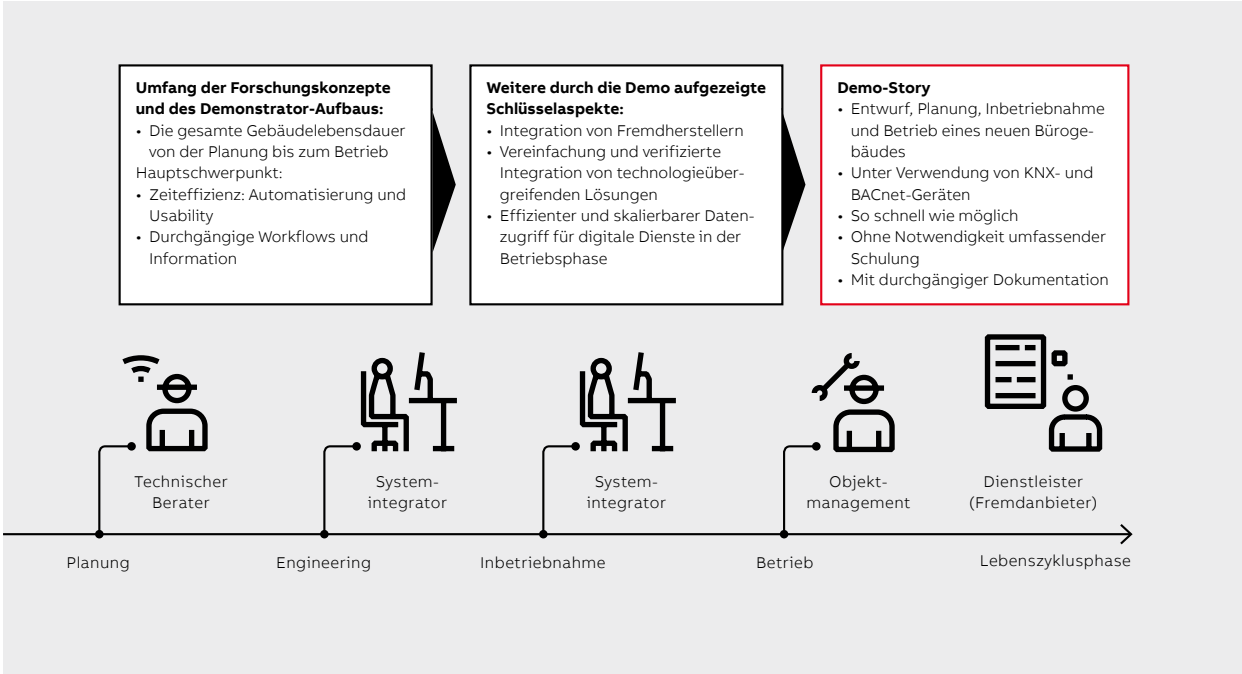


02

—
01 Da Gewerbegebäude normalerweise individuell sind, kann die Planung ihrer Automationsfunktionalität eine komplexe und teure Angelegenheit sein. In einem Forschungsprojekt hat ABB Möglichkeiten untersucht, die Automation von Gewerbegebäuden durch besser integrierte, zeitsparende Lösungen und offene Schnittstellen zu vereinfachen. (Foto: Anthony Byatt)

—
02 Zukünftige intelligente Gebäude als zentraler Aggregator für verschiedene Domänen.

—
03 Übergeordnete Storyline und Schlüsselaspekte der vorgeschlagenen Lösung.



03

- eine modulare Softwareplattform mit wohldefinierten Schnittstellen zur Integration vorhandener Tools wie z. B. die ETS für KNX oder Cloud-Dienste

Überblick über die vorgeschlagene Lösung
Das Schlüsselelement für alle unten beschriebenen Lebenszyklusphasen ist das vereinheitlichte Informationsmodell UIM (Unified Information Model) von ABB. UIM ist ein Domänenmodell, das sämtliche für die Lebensdauer des Gebäudeautomationssystems erforderlichen Informationen beschreibt und strukturiert. Darüber hinaus bietet es verschiedene

—

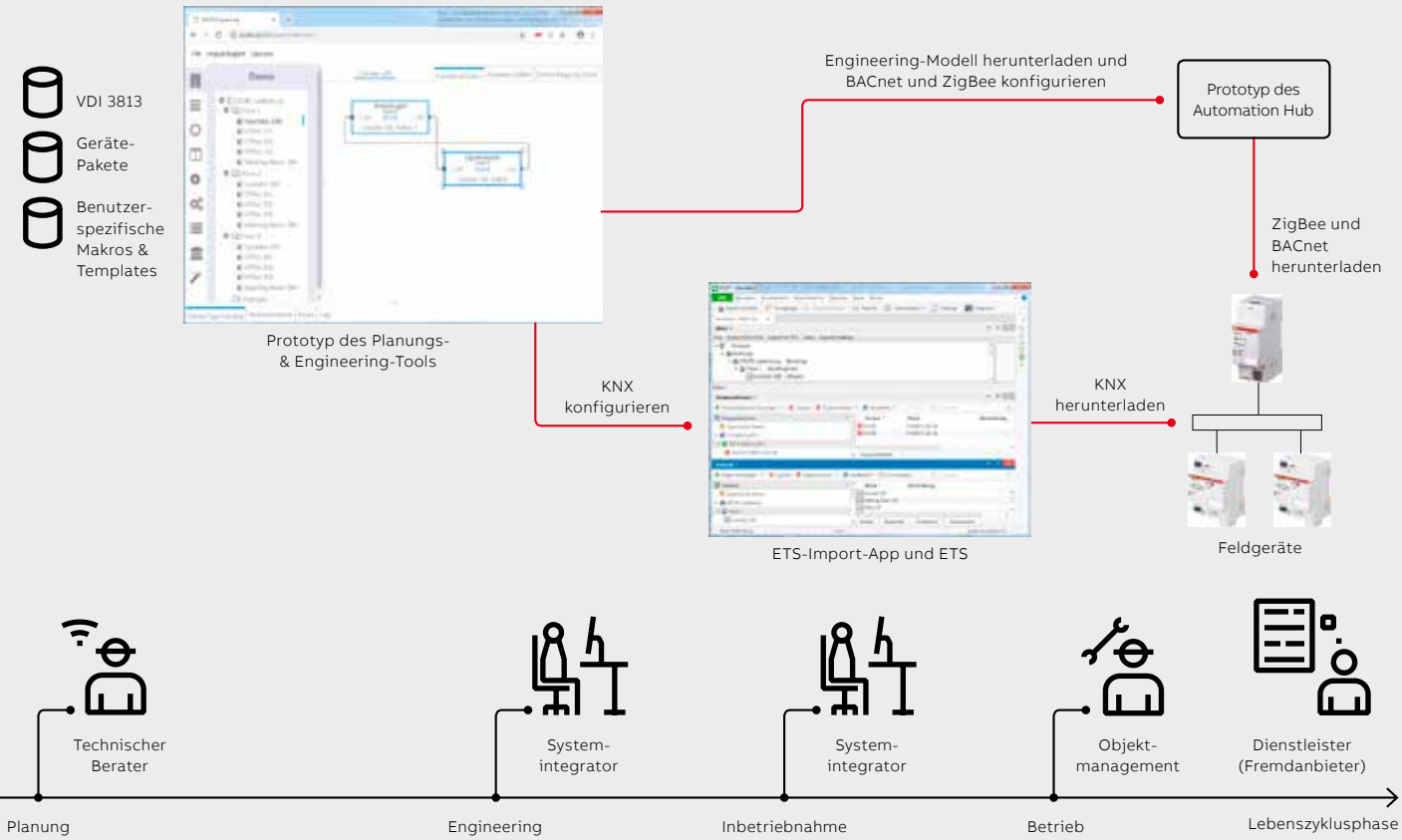
UIM ist ein Domänenmodell, das sämtliche für die Lebensdauer des Gebäudeautomationssystems erforderlichen Informationen beschreibt und strukturiert.

Einstiegspunkte und Implementierungsmethoden. Einstiegspunkte sind z. B. die Gebäudestruktur, Automationsfunktionen oder installierte Geräte. ABB hat sich dazu entschlossen, für den Prototyp eine einzige Instanz des UIM für alle Lebenszyklusphasen mit OPC UA (OPC Unified Architecture) [3] zu implementieren und zusätzliche Schnittstellen bereitzustellen.

Zunächst wurden die konkreten Arbeitsschritte vom Gebäudeentwurf bis zum Betrieb, die über verschiedene Domänen und geografische Regionen hinweg üblich sind, klar definiert →4. Zu den üblichen Aufgaben während der Planungsphase gehören die Festlegung der Gebäudestruktur, der Automationsfunktionalität und schließlich die Erstellung eines Ausschreibungsdokuments. Die Planung ist vollständig technologie- und herstellerunabhängig, da noch keine konkreten Geräte betrachtet werden.

Die Hauptaufgaben in der Engineering-Phase sind die Auswahl der eigentlichen Automationsgeräte entsprechend der vorgegebenen Spezifikation sowie die Erstellung einer ersten übergeordneten Konfiguration, z. B. der Dimmwerte für Lichtschalter oder der Standardsollwerte für Heizungsaktoren. Je nach Region, Projekt und Kunde kann der Systemintegrator Geräte aus dem Angebot seiner bevorzugten Hersteller wählen oder eine Liste der bereits installierten Geräte von den Installateuren erhalten. Das bedeutet, dass die vorgeschlagene Lösung in der Lage sein muss, mit unterschiedlichen Implementierungen des Gesamtworkflows umzugehen. Da es in diesem Schritt um konkrete Geräte geht, sind entsprechende Konzepte zur Integration verschiedener Technologien und Hersteller erforderlich. Das Hauptelement der ABB-Lösung in diesem Schritt ist das neue Gerätepakete-Konzept zur Gerätebeschreibung, das die Abbildung von tatsächlichen Geräten und deren technischen Details auf die funktionale Abstraktion der Planungsphase auf standardisierte Weise ermöglicht.

Eine übliche Aufgabe bei der Inbetriebnahme ist eine detaillierte Konfiguration der technologiespezifischen Parameter sowie das Erkennen der Automationsgeräte und das Herunterladen auf diese. Manche Technologien



haben vorgeschriebene Inbetriebnahme-Tools wie das ETS-Tool von KNX. In der ABB-Lösung werden vorhandene Tools direkt in den Workflow integriert. Bei technologieübergreifenden Systemen besteht zudem die Notwendigkeit eines sogenannten “Automation Hub”, der in der Lage ist, die verschiedenen Technologiesegmente zu

—

Zu den Schlüsselelementen der Lösung gehören Tool-Prototypen, Software-Plattformen, technologische Artefakte wie das UIM und Gerätepakete, sowie vorhandene Tools wie die ETS.

verstehen, zwischen ihnen zu übersetzen und möglicherweise weiterführende Funktionalitäten auszuführen. Der Automation Hub ist Teil der Betriebsphase, kann aber auch zur Inbetriebnahme von Technologien wie ZigBee eingesetzt werden, die kein separates Inbetriebnahme-Tool benötigen.

Schlüsselelemente der vorgeschlagenen Lösung
Zu den Schlüsselelementen der Lösung gehören Tool-Prototypen, Software-Plattformen, technologische Artefakte wie das UIM und Gerätepakete sowie vorhandene Tools wie die ETS.

Planungs- und Engineering-Tool
Dieser Tool-Prototyp →5 basiert auf HTML5 und kann als Web-Tool oder eigenständige Desktop-Version paketiert werden. Das Tool deckt die meisten Aspekte der Planung, des Engineerings und der Inbetriebnahme ab. Es ermöglicht dem Nutzer die effiziente Erstellung einer Gebäudestruktur und einer Funktionsspezifikation, indem es z. B. eine Bibliothek von Funktionsbausteinen gemäß VDI 3813, benutzerdefinierte Makros, Such- und Filterfunktionen, eine automatische Validierung und einen BIM-Import (Building Information Modeling) der Gebäudestruktur bietet. Es kann ein Ausschreibungsdokument erstellt werden, oder das Projekt kann gespeichert und an einen Systemintegrator gesendet werden. Für die Engineering-Phase können Geräte per Drag-&-Drop aus einem Katalog gewählt werden. Kanäle und semantische Parameter der Geräte können konfiguriert werden. Zeiteffizienz und Usability werden durch eine Gerätesuche und Filter (z. B. nach Technologie oder Hersteller), eine Vorauswahl geeigneter Geräte für bestimmte Funktionsbausteine, einen benutzerspezifischen Gerätekatalog-Import, Tool-Tips oder die Definition von Vorlagen gewährleistet. Ferner ist der Dateiexport in die ETS ebenso möglich wie die Erkennung von ZigBee-Geräten und das Herunterladen der Konfiguration auf diese Geräte.

—
04 Überblick über die Schlüsselelemente und deren Interaktionen.

—
05 Funktionseditor und Seitenleiste des Planungs- und Engineering-Tool-Prototyps.

Gerätepaket
Dieses Artefakt beschreibt die Funktionalität eines Geräts und die Abbildung von technologiespezifischen auf semantische Parameter, um die Auswahl von Geräten für eine Funktionsspezifikation zu unterstützen bzw. zu automatisieren. Das ABB-Konzept bietet eine standardisierte Möglichkeit zur Erstellung solcher Gerätebeschreibungen auf der Basis von XML-Schemata. Darüber hinaus können vorhandene Informationen wie KNXprod-Dateien, die um die semantischen Mapping-Informationen erweitert

—

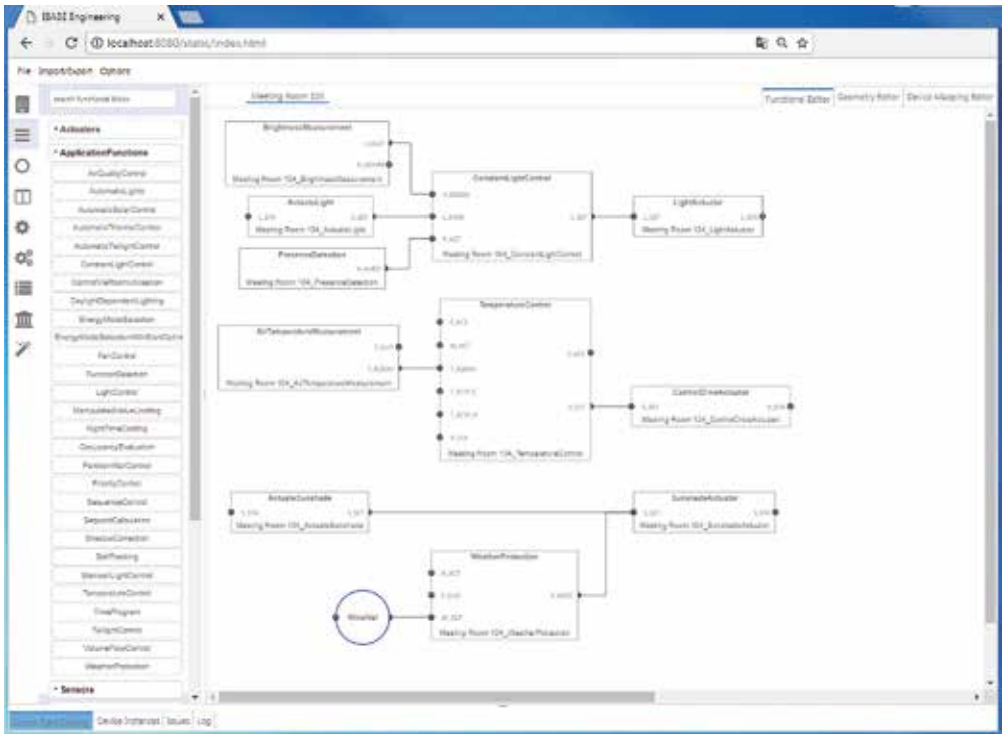
Das UIM nutzt Standards wie das OPC UA DI-Modell als Grundlage und definiert ein kleines Basismodell mit Erweiterungspunkten für Semantiken und Technologien.

werden müssen, wiederverwendet und integriert werden. Dieser Ansatz ist auf verschiedene Technologien anwendbar.

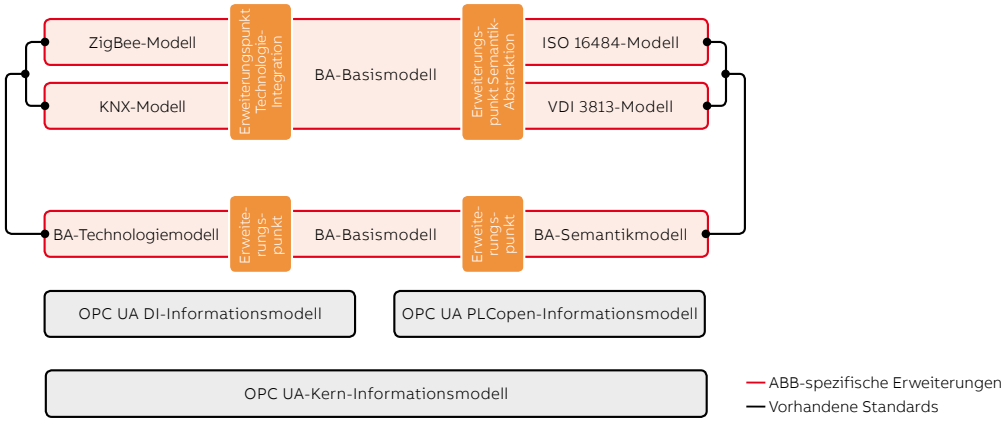
Konfigurationsgenerator
Dieses Artefakt ist Bestandteil des Planungs- und Engineering-Tools und sorgt für die vollständige Automatisierung der technologiespezifischen Konfiguration, d. h. es werden Regeln und Heuristiken implementiert, um automatisch eine vollständige, gültige und funktionierende Konfiguration – z. B. für den KNX-Teil eines Gebäudeautomationssystems – zu generieren.

ETS-Import-App
Dieser Tool-Prototyp importiert und übersetzt sämtliche Informationen des KNX-spezifischen Exports, der vom Konfigurationsgenerator des Planungs- und Engineering-Tools generiert wurde, in das Datenmodell des für KNX-Geräte vorgeschriebenen ETS-Inbetriebnahme-Tools. Die Design-Entscheidung ist es, existierende Tools wiederzuverwenden, aber dem Nutzer gleichzeitig die Möglichkeit zu bieten, die automatisch generierte Konfiguration bei Bedarf vor dem Herunterladen auf die Geräte anzupassen.

UIM
Dieses Artefakt stellt ein Strukturmodell aller erforderlichen Informationen bereit und gewährleistet die Verständlichkeit und Portierbarkeit von Informationen durch eine wohldefinierte Struktur und Semantik sowie wohldefinierte Einstiegspunkte. Das UIM nutzt Standards wie das OPC UA DI-Modell (DI = Device Integration) [4] als Grundlage und definiert ein kleines Basismodell mit Erweiterungspunkten für Semantiken und Technologien →6. Damit ist es modular und wartbar und gleichzeitig offen und erweiterbar. Zudem unterstützt es die parallele Nutzung mehrerer Semantiken und Technologien. Das UIM wurde in einen OPC UA-Server implementiert und wird über die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes hinweg genutzt.



05



06

06 Architektur des vereinheitlichten Informationsmodells (UIM) mit Erweiterungspunkten

Literaturhinweise
[1] KNX Association. Verfügbar unter: http://www.knx.org

[2] VDI: "VDI 3813: Gebäudeautomation – Raumautomation". Mai 2011.

[3] IEC: "IEC TR 62541-1: OPC Unified Architecture - Part 1: Overview and Concepts". Oktober 2016.

[4] IEC: "IEC TR 62541-100: "OPC Unified Architecture - Part 100: Device Interface". März 2015.

Automation Hub
Dieser Tool-Prototyp ist eine modulare und flexible Software-Plattform mit dem UIM als Kernmodul. Der Automation Hub ergänzt den OPC UA-Server um weitere Schnittstellen wie z. B. REST oder oBIX, um eine einfache Integration z. B. in Cloud-Dienste zu ermöglichen. Er kann mit zusätzlichen Modulen für höherwertige Dienste als vollständige Plattform für die Betriebsphase implementiert und z. B. auf einem Raspberry Pi Model B+ ausgeführt werden. Alternativ kann er als einzelnes Modul zusammen mit dem Planungs- und Engineering-Tool implementiert werden, wobei er alle erforderlichen Informationen auf transparente Weise speichert und bereitstellt, ohne dass der Nutzer weiß, dass er da ist.

Machbarkeitsstudie und Demonstrator-Aufbau
Alle erwähnten Konzepte und Schlüsselelemente wurden in einem Demonstrator-Aufbau implementiert und integriert, um die Machbarkeit zu prüfen und die Diskussion mit Projekt-Stakeholdern zu ermöglichen. Das System stellt einen

> Der Automation Hub ist eine modulare und flexible Software-Plattform mit dem UIM als Kernmodul.

Besprechungsraum in einem Bürogebäude mit umfangreichen Automationsfunktionen wie Konstantlichtregelung, Heizung und Lüftung, Anwesenheitserkennung und Fenstersensoren dar. Um die notwendige Relevanz und Heterogenität zu gewährleisten, stammen die installierten Geräte von verschiedenen Herstellern und nutzen unterschiedliche Technologien wie KNX, (Beleuchtung, Bedienschnittstelle, Anwesenheitserkennung), BACnet (Heizungs- und Lüftungssteuerung, Bedienschnittstelle) und ZigBee (Fenstersensor). Die gesamte Planung und das Engineering erfolgten mithilfe der oben beschriebenen Prototypen. Für KNX wurde die automatische Konfiguration genutzt. Für BACnet und ZigBee kam die Erkennungs- und Download-Funktion des ABB-Tool-Prototyps zum Einsatz, d. h. es wurden nur die Standardprofile und -objekte der Technologien verwendet. Es sei erwähnt, dass die Prototypen zwar die anspruchsvollsten Schlüsselaspekte abdecken, aber noch einige Vereinfachungen beinhalten und noch nicht mit allen Funktionen ausgestattet sind.

Erste Kundendemonstrationen und Rückmeldungen bestätigen, dass die vorgeschlagenen Konzepte und Machbarkeitsstudien konkrete Herausforderungen der Kunden adressieren und dass Kunden in den Konzepten nützliche Vorteile für ihre tägliche Arbeit und den Übergang in das digitale Zeitalter sehen. Zukünftige Forschungsarbeiten werden sich mit Themen befassen, die nicht in dem derzeitigen Projektumfang enthalten sind, wie Integration von Automatisierungsfunktionen und Elektrifizierung, Management des Modell-Lebenszyklus oder zusätzliche Features für bestimmte Technologien, Marktsegmente oder Nutzerrollen.

Danksagungen
Dieser Artikel wäre nicht möglich gewesen ohne die Ideen, die Arbeit und das Engagement des gesamten Projektteams und der Projekt-Stakeholder. Besonderer Dank gilt Roland Braun, Florian Kantz, Somayeh Malakuti, Johannes Schmitt, Katharina Stark, Michael Vach, Retus Cathomen, Jens Czudai, Dirk John und Christian Lehnert. ●

AUTONOME KOLLABORATION

Digitaler Zwilling – eine bedeutende Softwarekomponente der Industrie 4.0

Ein Schlüsselelement der Industrie 4.0 ist der „digitale Zwilling“. Dieser ermöglicht die einfache Erfassung und den einfachen Austausch von Daten, den unbeschränkten Zugang zu einer erheblich größeren Informationsvielfalt als bisher und eine beispiellose Interoperabilität. Was sind die neuesten Entwicklungen in der sich rasch entwickelnden Welt der digitalen Zwillinge?

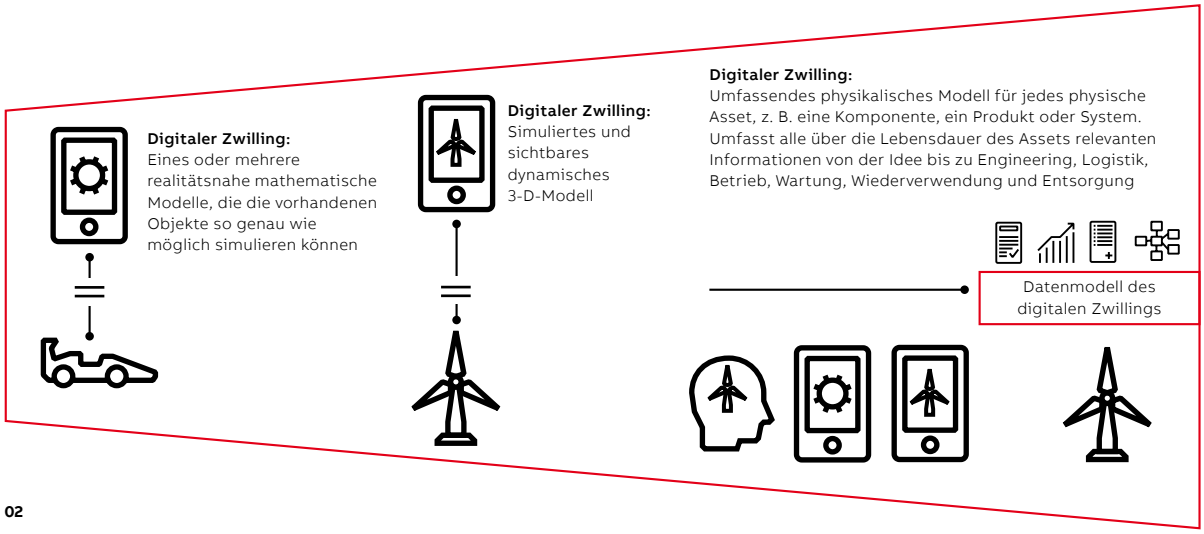
Somayeh Malakuti
Jan Schlake
Sten Grüner
Dirk Schulz
Ralf Gitzel
Johannes Schmitt
Marie Platenius-Mohr
Philipp Vorst
ABB Corporate Research Center
Ladenburg, Deutschland

somayeh.malakuti@de.abb.com
jan-christoph.schlake@de.abb.com
sten.gruener@de.abb.com
dirk.schulz@de.abb.com
ralf.gitzel@de.abb.com
johannes.schmitt@de.abb.com
marie.platenius@de.abb.com
philipp.vorst@de.abb.com

Kai Garrels
ABB Electrification Products
Heidelberg, Deutschland

kai.garrels@de.abb.com

01



02

Das industrielle Internet der Dinge (IIoT) ermöglicht die Verknüpfung zahlreicher heterogener Betriebsmittel zu einem System mit dem Ziel, intelligentere Handlungen aus Daten abzuleiten. Die Anwendung des IIoT in

Ein Schlüsselelement für Industrie-4.0-Systeme ist das Konzept des digitalen Zwillings.

industriellen Produktionssystemen wird als Industrie 4.0 bezeichnet. Insbesondere die deutsche Bundesregierung hat die Bedeutung der Industrie 4.0 erkannt und investiert kontinuierlich in die Erforschung und industrielle Erprobung dieser Technologien.

Ein Schlüsselelement für Industrie-4.0-Systeme ist das Konzept des digitalen Zwillings. Ein digitaler Zwilling erleichtert nicht nur die Erfassung und den Austausch von Daten, sondern ermöglicht auch den unbeschränkten Zugang zu einer erheblich größeren Datenvielfalt als bisher und bietet eine nie da gewesene Interoperabilität →1.

Da sich die Definition eines digitalen Zwillings ständig weiterentwickelt [1], ist es hilfreich, den aktuellen Stand der Forschung auf diesem Gebiet, die Arbeit der deutschen „Plattform Industrie 4.0“ sowie einige Anwendungsszenarien, in denen der digitale Zwilling als Schlüsselelement zum Einsatz kommt, näher zu betrachten.

Definition des digitalen Zwillings

Zunächst galt ein digitaler Zwilling als eine Reihe von realitätsnahen mathematischen Modellen, die das Verhalten von realen Assets (z. B. physische Geräte, Anlagen und Dienste) so genau wie möglich widerspiegeln (→2 links). Diese Auffassung wurde dann um die simulierten und sichtbaren dynamischen 3-D-Modelle realer Assets erweitert (→2 Mitte).

Zurzeit wird der Begriff digitaler Zwilling definiert als „ein sich entwickelndes digitales Profil des historischen und aktuellen Verhaltens eines physischen Objekts oder Prozesses, das dabei hilft, die betriebswirtschaftliche Leistung zu optimieren. Der digitale Zwilling basiert auf umfangreichen, kumulativen Echtzeit-Datenmessungen, die dimensionsübergreifend in der realen Welt vorgenommen werden“ [3] →3.

Diese Informationen werden durch Metadaten, Eigenschaften und Dokumente wie Berichte, Dokumentationen oder betriebliche Verfahrensweisen ergänzt, die in allen Lebenszyklusphasen des Assets erstellt werden. Der wahre Wert eines digitalen Zwillings zeigt sich jedoch erst in der Interaktion mit anderen digitalen Zwillingen oder Softwaretools →4.

—
01 Seit dem Aufkommen des IIoT verändert sich die Welt der Fertigung grundlegend. Eine Schlüsselkomponente dieser Entwicklung ist der digitale Zwilling.

—
02 Entwicklung der Definition eines digitalen Zwillings (basierend auf [1]).

—
03 Informationsdimensionen, die während der Lebenszyklusphasen eines Geräts in den digitalen Zwilling einfließen können (basierend auf [4]).

Während der digitale Zwilling am Standort eines Herstellers verschiedene Modelle für das Design und die Fertigung eines Produkttyps enthält, beinhaltet der digitale Zwilling auf der Kundenseite verschiedene Modelle zum Kauf, zur Installation, zum Betrieb, zur Instandhaltung und zur Entsorgung der Produktinstanzen. Der Datenaustausch zwischen digitalen Zwillingen vervollständigt das Bild für beide beteiligten Parteien.

Digitale Zwillinge im Lebenszyklus von Industrie-4.0-Anlagen

Der digitale Zwilling ist ein Schlüssel zu den Vorteilen der Industrie 4.0, denn er bindet Informationen an die einzelnen Assets einer Anlage. Durch kontextspezifische Informationen, die zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle zur Verfügung stehen, werden neue Anwendungsszenarien ermöglicht, die mit statischen und daher allgemeinen Dokumentationen und Daten nicht möglich sind. →5 zeigt die Vision von ABB für die Planung, den Bau und den Betrieb von Industrie-4.0-Anlagen und die Rolle des digitalen Zwillings in jeder Phase [5].

In Schritt 1 muss ein vollständiges digitales Modell basierend auf den Ergebnissen der Planungsphase entwickelt werden (was bei der Industrie 3.0 nicht der Fall ist). Implizites Wissen und Annahmen der Planungsingenieure werden explizit modelliert und im digitalen Zwilling der Anlage gespeichert. Die erforderlichen Geräte werden von Menschen aus einer digitalen Rollenbibliothek gewählt und mit dem digitalen Zwilling der Anlage verknüpft. Die Rollen sind abstrakt und hardwareunabhängig. In späteren Phasen werden einige der spezifizierten Rollen von realen Geräten erfüllt.

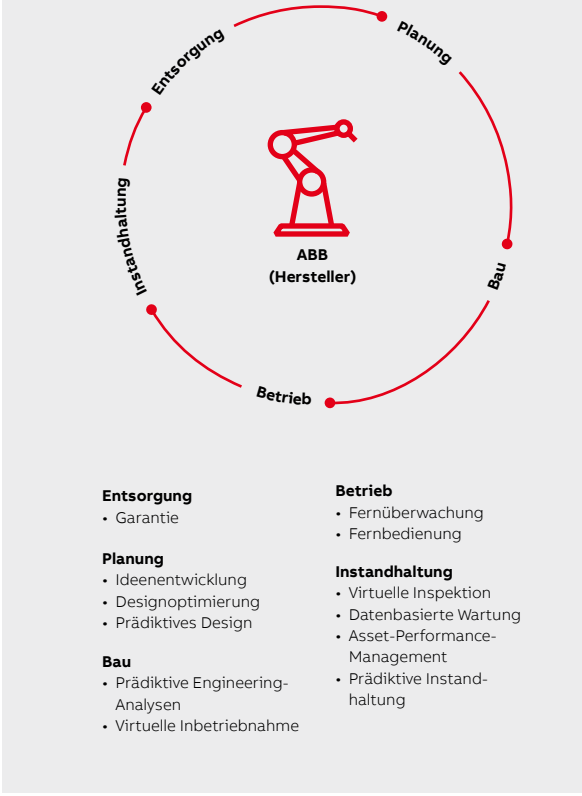
—

Der digitale Zwilling bindet Informationen an die einzelnen Assets einer Anlage.

In Schritt 2 sind die Kataloge der Hersteller mit verfügbaren Produkttypen elektronisch zugänglich und können über standardisierte Schnittstellen eingesehen werden. Diese Kataloge enthalten die digitalen Zwillinge von Produkttypen, die alle Aspekte des Lebenszyklus der Typen abdecken und eine Standardschnittstelle für den Zugang zu den Informationen bereitstellen.

	Planung	Bau	Betrieb	Instandhaltung
Produktlebenszyklus-Information	PLM	PLM	Betriebsanleitungen	Wartungsprotokolle
3-D-Darstellung	Konstruktionszeichnungen	Fertigungsanweisungen	Anlagenvisualisierung	Wartungsanleitungen, Augmented Reality
Modell	Verhaltensvorhersage	Virtuelle Inbetriebnahme	Regelgüte	Diagnose
Simulation	Designsimulation	Hardware-in-the-Loop-Tests	Was-wäre-wenn-Analysen	Vorhersage
Datenmodell	Engineering-Daten	Fertigungsdaten	Betriebsdaten	Wartungsdaten
Angeschlossene Analysen			Betriebliche KPIs	Funktionszustandsbezogene KPIs
Visualisierung	Designwerkzeug	Designwerkzeug	Betriebszustandsanzeige	Funktionszustandsanzeige

03



04

— 04 Interaktion zwischen verschiedenen digitalen Zwillingen.

In Schritt 3 werden die gewählten Produkttypen instanziiert und die damit verbundenen Informationen (Kennung, Parameter usw.) in die digitalen Zwillinge der Produktinstanzen eingebunden. Die digitalen Zwillinge der Produktinstanzen werden in den digitalen Zwilling der Anlage eingebunden und mit den jeweiligen digitalen Zwillingen der Produkttypen verknüpft.

—

Bei jedem Schritt werden Informationen ergänzt, und der digitale Zwilling eines Assets reift während des Lebenszyklus einer Anlage.

Die digitalen Zwillinge von Produktinstanzen können z. B. für Simulationen und Tests auf Basis der Anlagentopologie genutzt werden. Die Ergebnisse der Simulationen werden wiederum im digitalen Zwilling der Produktinstanzen verwaltet.

In Schritt 4 werden die realen Produkte mithilfe des digitalen Zwillings von Produktinstanzen bestellt. Dabei werden auftragsrelevante Teile des digitalen Zwillings an den Produktanbieter kommuniziert. Das Produkt wird dann später in die Anlage integriert, konfiguriert, getestet und in Betrieb genommen. In dieser Phase werden die digitalen Zwillinge um Installations- und Inbetriebnahmeinformationen, die Platzierung von Geräten, Seriennummern usw. ergänzt.

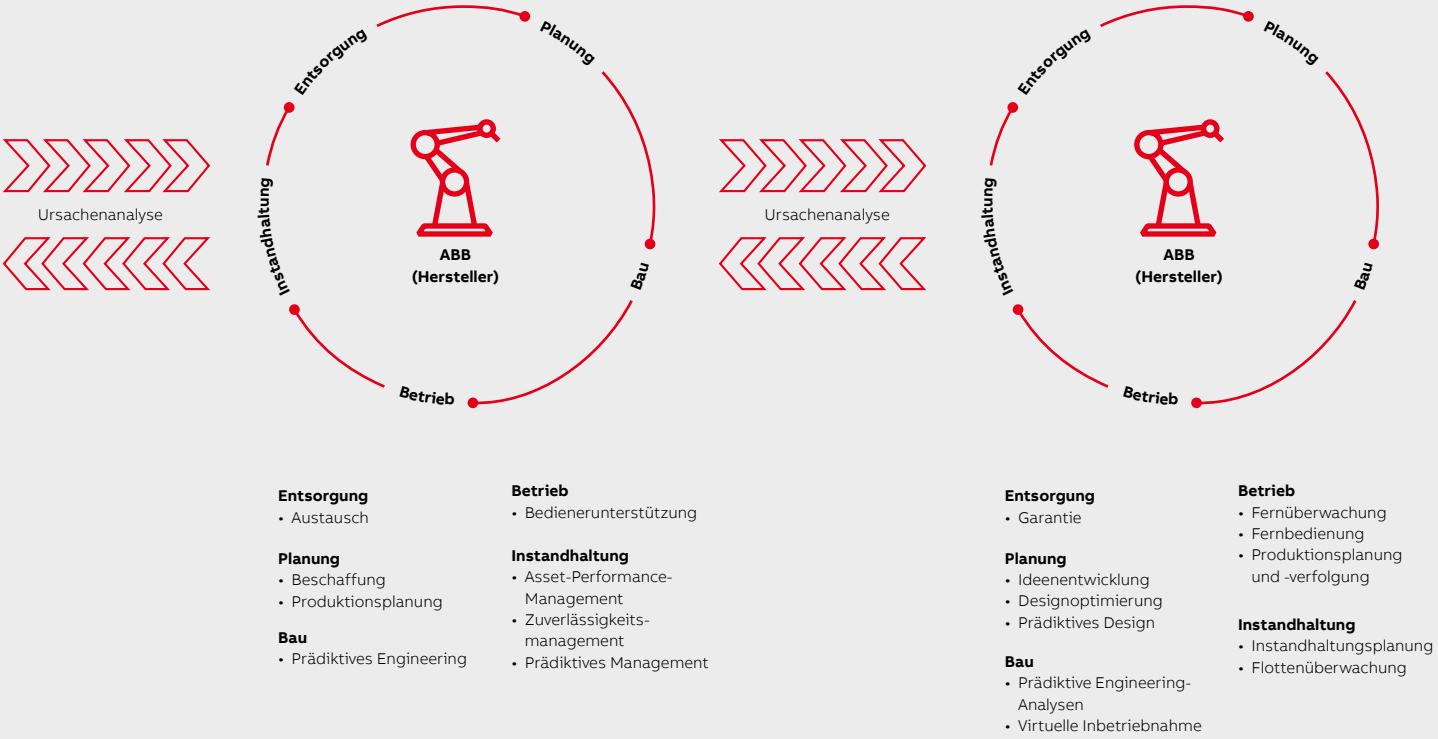
In Schritt 5 werden die digitalen Zwillinge einzelner Produktinstanzen sowie der Anlage um Betriebs- und Wartungsinformationen ergänzt. Dazu gehören z. B. Echtzeit-Parameter, Funktionszustände und die Anzahl der Ausfälle. Bei der „Plattform Industrie 4.0“ [6] organisiert der digitale Zwilling (der dort als „Verwaltungsschale“ bezeichnet wird) Informationen für Anwendungsszenarien in jeweils ein entsprechendes Teilmodell, das Merkmale, Dateien, Methodenaufrufe, externe Verbindungen oder andere Daten für genau dieses Szenario enthält.

Bei jedem der oben beschriebenen Schritte werden vorhandene Teilmodelle ergänzt oder neue Teilmodelle für das Anwendungsszenario hinzugefügt.

Der digitale Zwilling als Schlüsselelement für Industrie-4.0-Anwendungsszenarien
Mithilfe eines digitalen Zwillings können verschiedene Anwendungsszenarien auf effizientere Weise realisiert werden. Im Folgenden sollen einige Beispiele beschrieben werden.

Integriertes Engineering, integrierter Betrieb, integrierte Wartung
Im Laufe des Lebenszyklus eines Produkts werden verschiedene Informationsquellen, Modelle und Tools relevant →3. Allerdings ist der Informationsfluss innerhalb bzw. zwischen den einzelnen Lebenszyklusphasen derzeit meist unterbrochen. So können Informationen der Wartungsphase z. B. nicht ohne Weiteres in die Engineering-Phase zurückgeführt werden, um eine bessere Abstimmung der Parameter eines Geräts zu ermöglichen. Dieser unterbrochene Informationsfluss führt nicht nur zu einer Zerstreuung oder gar zum Verlust von Informationen, sondern erschwert auch den Zugang zu den richtigen Informationen.

Ein digitaler Zwilling fungiert als Container zur Integration von Informationen aus verschiedenen Quellen in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen. Die darin enthaltenen Informationen können in unterschiedlichen Formaten vorliegen, von verschiedenen Tools stammen und müssen nicht notwendigerweise an einem zentralen Ort gespeichert sein. Ein digitaler Zwilling hilft dabei, den erforderlichen Aufwand für Informationszugriff und -verwaltung zu reduzieren. So kann z. B. vermieden werden, dass Veränderungen während des Betriebs vor Ort manuell in Engineering-Dokumente eingepflegt werden müssen. Die im digitalen Zwilling enthaltenen Informationen können außerdem genutzt werden, um das aktuelle Leistungsverhalten von Assets zu analysieren und Bemessungsdaten für zukünftige Systeme abzuleiten.



Prädiktives Produktdesign, prädiktive Fertigung und prädiktive Analyse

Derzeit ist es nicht möglich, Informationen über Unternehmen hinweg nahtlos auszutauschen. So erfährt der Konstrukteur eines von ABB verkauften Produkts in der Regel nur dann etwas über das Verhalten des Produkts in der Kundenumgebung, wenn der Kunde Gewährleistungsansprüche stellt, Serviceberichte teilt oder dem Anbieter – z. B. über einen Vertriebsmitarbeiter – explizit Rückmeldung gibt. Alle diese Quellen sind jedoch unvollständig und möglicherweise ungenau, d. h. dem Produktdesigner stehen nur beschränkte und ungewisse Informationen für die Konstruktion der nächsten Generation des Produkts zur Verfügung.

Der digitale Zwilling wird als Schlüsselelement für den Informationsaustausch über Unternehmen hinweg gesehen. So können z. B. ausgewählte Betriebs- und Wartungsinformationen zu einem Asset im digitalen Zwilling verwaltet werden und auf geeignete Weise mit externen Beteiligten ausgetauscht werden. Insbesondere die in einem digitalen Zwilling enthaltenen Prozessdaten, Modelle und Ergebnisse von Echtzeit-Simulationen helfen dabei, Anforderungen vorherzusagen und das Design für die nächsten Generationen von Asset-Typen zu verbessern. Prädiktive Analysen helfen Herstellern dabei, zukünftige Herausforderungen sicher vorauszuberechnen. In diesem Anwendungsszenario ermöglicht das Konzept des digitalen Zwillings eine kontinuierliche Verbesserung des Designs von Asset-Typen auf der Grundlage realer Daten.

Plug-&-Produce für Feldgeräte

Um die korrekte Konfiguration für Feldgeräte aus einem bestehenden Prozessdesign abzuleiten, ist heute manuelle Arbeit erforderlich. Zum Teil werden keine standardisierten Beschreibungsformate verwendet, und wenn doch, werden sie möglicherweise nicht offen geteilt. Ist dies doch der Fall, unterscheiden sich die zugrundeliegenden Standards für das Prozess- und Automatisierungsdesign in der Art und Weise, wie sie die gleiche Information wiedergeben. So kann der Informationsfluss überall dort unterbrochen sein, wo Daten weitergeleitet werden.

Hinzu kommt, dass beim Einsatz von Feldbustechnologie die Erkennung, Adressierung, Identifizierung und Online-Konfiguration von Geräten größtenteils eine manuelle und somit fehleranfällige Tätigkeit ist. Außerdem haben Messpunkte, Feldgeräte, Signale usw. in den verschiedenen Tools typischerweise verschiedene Namen oder Kennungen. So ist häufig eine manuelle Übertragung notwendig, um die korrekten Zuordnungen sicherzustellen. Vor allem aber müssen diese Inbetriebnahmeschritte wiederholt werden, wenn einmal ein Gerät während des Anlagenbetriebs ausgetauscht werden muss.

Technologien wie FDI (Field Device Integration) und OPC UA (OPC Unified Architecture) helfen bereits, viele Probleme bei der Inbetriebnahme von Feldgeräten zu mindern.

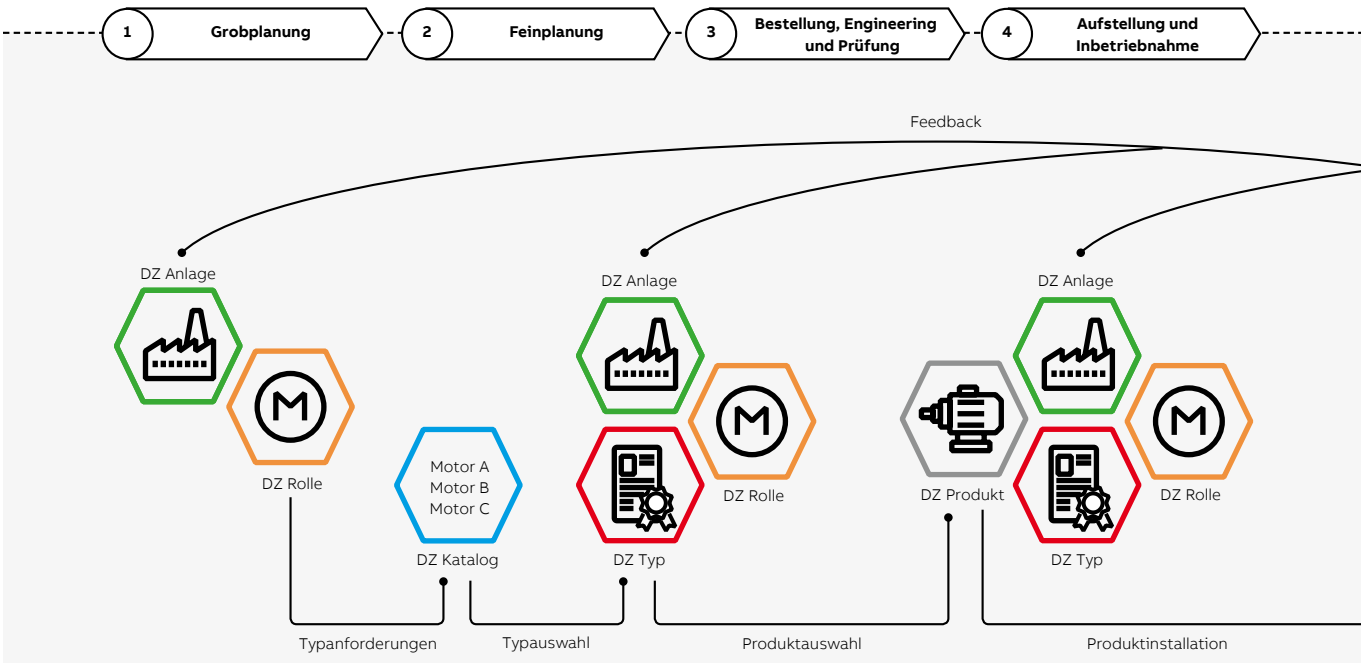
—

Der digitale Zwilling reduziert die erforderliche Zeit für das grundlegende Engineering und die Inbetriebnahme eines Feldgeräts von etwa 10 Minuten auf weniger als eine Sekunde.

Der digitale Zwilling für Feldgeräte baut auf diesen Technologien auf und ermöglicht ein Plug-&-Produce-Szenario für Feldgeräte. Durch Einbindung weiterer Standards aus den Bereichen IKT (Informations- und Kommunikationstechnik) und Automatisierung – einschließlich Empfehlungen von Kundeninteressengruppen wie NAMUR – bündelt der digitale Zwilling alle notwendigen Informationen für das Engineering, die Inbetriebnahme, die Nutzung und den Austausch von Feldgeräten auf einheitliche Weise. Die Verknüpfung zwischen dem digitalen Zwilling und seinem physischen Pendant bietet dem Nutzer die Möglichkeit, Parameter automatisch auf die Feldgeräte herunterzuladen und diese in Betrieb zu nehmen. Während für den physischen Austausch weiterhin geschultes Personal erforderlich ist, ermöglicht der digitale Zwilling eine sofortige Rekonfiguration ohne die Hilfe eines Geräte- oder Prozessexperten.

So reduziert der digitale Zwilling die erforderliche Zeit für das grundlegende Engineering und die Inbetriebnahme eines Feldgeräts von etwa 10 Minuten (vorausgesetzt, es treten keine Probleme auf) auf weniger als eine Sekunde. Bei einer Anlage durchschnittlicher Größe mit 10.000 E/A-Punkten reduziert sich die Arbeit von einer Woche auf wenige Minuten.

Dadurch, dass der Informationsfluss über alle Lebenszyklusphasen hinweg erhalten bleibt, ist die systematische Wiederverwendung vorhandener Informationen vom ursprünglichen Prozessdesign von noch größerem Nutzen. Die Konfiguration eines Feldgeräts wird zur unmittelbaren Folge der Absichten des Prozessingenieurs, und der Grund für jede Konfiguration kann objektiv und automatisch auf eine Kundenanforderung zurückgeführt werden. Dies erhöht die Qualität der Engineering-Daten, da Fehler auf das ursprüngliche Prozessdesign begrenzt werden.



DZ = digitaler Zwilling

—
05 Der digitale Zwilling in Industrie-4.0-Anlagen.

—
Literaturhinweise
[1] R. Drath (2018): „The Digital Twin: The Evolution of a key Concept of Industry 4.0“. Gastartikel für visIT/Fraunhofer IOSB 2018. Verfügbar unter: https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/81724/

[2] M. Grieves (2014): „Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication“. Whitepaper. Verfügbar unter: http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc_mgr/912/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf

[3] Deloitte Consulting: „Industry 4.0 and the digital twin – Manufacturing meets its match“. Deloitte University Press, 2017.
[4] C. Ganz: „Digitaler Zwilling – praktisch identisch?“. ABB Review 02/2018, S. 94–95.

[5] C. Wagner et al.: „The role of the Industry 4.0 Asset Administration Shell and the Digital Twin during the life cycle of a plant“. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Limassol, Zypern, 2017.

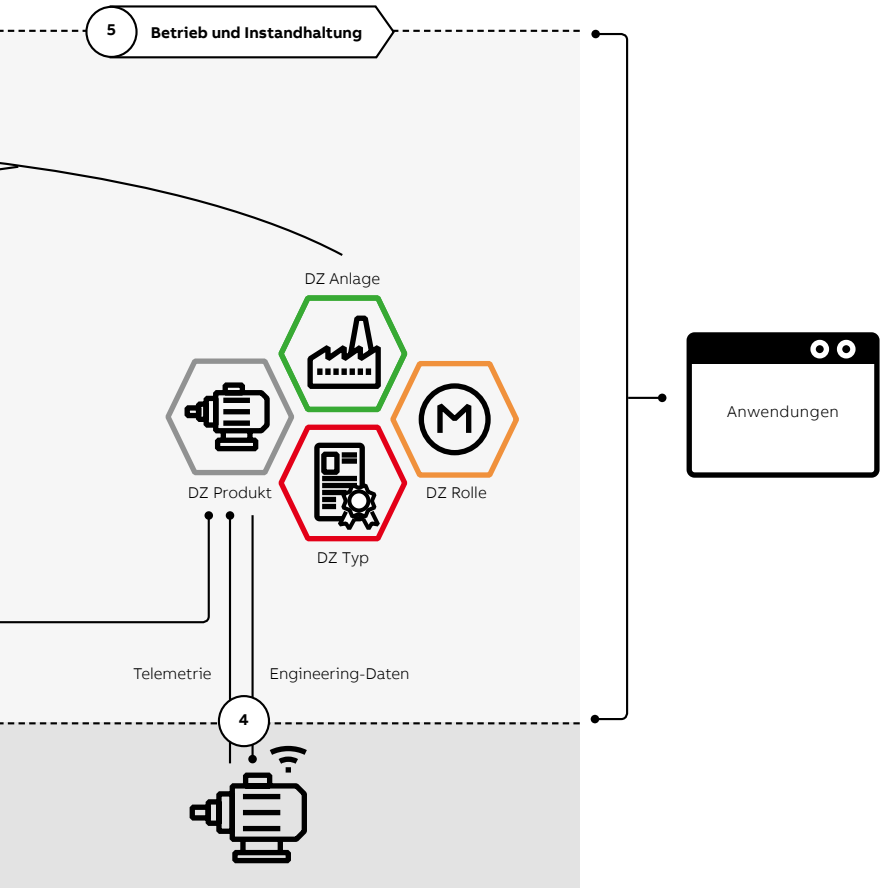
[6] Plattform Industrie 4.0: „Struktur der Verwaltungsschale“. Verfügbar unter: https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.pdf
[7] https://www.basys40.de/

Der digitale Zwilling bei ABB
Aufgrund der bedeutenden Rolle des digitalen Zwillings in der Industrie 4.0 werden seine verschiedenen Aspekte im Rahmen von Forschungsprojekten bei ABB untersucht. An dem vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt BaSys 4.0 [7] sind z. B. 15 Partner aus Industrie und Forschung beteiligt. Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer offenen Referenzplattform, bei der der digitale Zwilling als Schlüsselelement dabei hilft, Flexibilität in der Fertigungs- und Prozessindustrie zu erreichen.

—

Während das IIoT Fahrt aufnimmt, entwickeln sich digitale Zwillinge zu Eckpfeilern der Industrieautomatisierung.of industrial automation.

Während das IIoT Fahrt aufnimmt, entwickeln sich digitale Zwillinge zu Eckpfeilern der Industrieautomatisierung. Die Fähigkeit zur Implementierung effektiver digitaler Zwillinge wird eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung der digitalen Zukunft der Automatisierungslandschaft spielen. ●



Partnersch

36

haften

Erfolgreiche Partnerschaften gehen über die reine Zusammenarbeit hinaus, um eine echte Verschmelzung von Zweck und Mittel zu erreichen. Innovation ist nicht nur ein Ergebnis, sondern ein Werkzeug, um Dinge voranzutreiben.

36 **Digitale Innovation durch Kooperation mit Hochschulen**

PARTNERSCHAFTEN

Digitale Innovation durch Kooperation mit Hochschulen

Wenn es gelingt, die verschiedenen Datenströme, die in einem typischen industriellen Prozess fließen, miteinander zu verknüpfen, bietet dies einen hohen Nutzen. ABB arbeitet eng mit verschiedenen Hochschulen zusammen, um die Herausforderungen, die mit der Nutzung dieser Daten verbunden sind, zu untersuchen und Forscher mit dem erforderlichen Wissen zur kontinuierlichen Entwicklung digitaler Innovationen auszustatten.

Anna Stief
James Ottewill
ABB Corporate Research
Krakau, Polen

anna.stief@pl.abb.com
james.ottewill@pl.abb.com

Nina Thornhill
ABB Chair of Process Automation, Imperial College London, Großbritannien

Im Laufe der Jahrzehnte sind industrielle Prozesse immer komplizierter geworden und umfassen heute oft viele komplexe prozesstechnische, mechanische und elektrische Teilsysteme.

ABB arbeitet seit einigen Jahren eng mit führenden Hochschulen zusammen, um die Herausforderungen komplexer Systeme zu bewältigen.

Da diese Teilsysteme bei der Automatisierung als integriertes Ganzes behandelt werden, besteht der Bedarf, Informationskreisläufe zwischen ihnen zu schließen. Da solche Teilsysteme mittlerweile aber riesige Mengen von Daten erzeugen, erfordert der effiziente und nachhaltige Betrieb von Anlagen über eine typische Lebensdauer von 30 bis 50 Jahren hinweg ausgeklügelte und ganzheitliche Konzepte für das Management von Informationen und Ressourcen. ABB arbeitet seit einigen Jahren eng mit führenden Hochschulen zusammen, um die Herausforderungen, die mit der Entwicklung solcher Konzepte verbunden sind, zu bewältigen.

—
01 Das Imperial College (hier der South Kensington Campus) ist eine der Hochschulen, mit denen ABB zusammenarbeitet, um die Herausforderungen zu bewältigen, die die Digitalisierung für die Prozessindustrien mit sich bringt. (Foto: © 2018 Imperial College London).

—
Fußnote
1) Das Projekt wird gefördert durch das Forschungs- und Innovationsprogramm FP7-ITN der Europäischen Union unter der Marie-Curie-Fördervertragsnummer PITN-GA-2010-264940.

ABB und das Imperial College London
Im Rahmen der Hochschulkooperationen befasst sich ABB mit den grundlegenden Herausforderungen der Digitalisierung für die Prozessindustrien. So arbeiten ABB und das Imperial College London →1 zusammen an einem Programm, das mehrere Projekte zum Management industrieller Prozessinformationen und Ressourcen umfasst. Das Ziel ist es, Daten in direkte Handlungen in der physischen Welt umzuwandeln. Schwerpunkt des Ansatzes ist die Verbesserung der Effizienz innerhalb des großen installierten Bestands von Prozessanlagen – vornehmlich durch Optimierung des Betriebs mithilfe von Verfahren zur Vorhersage, Erkennung, Diagnose und Beseitigung der Ursachen von Ineffizienzen. Die Arbeiten hierzu werden durchgeführt von Forschern des Imperial College, abgeordneten Forschungsingenieuren von ABB und Doktoranden, die einen Teil ihrer Zeit am Imperial College und einen Teil im Rahmen von Praktika bei ABB und anderen kooperierenden Unternehmen verbringen.

Die Tatsache, dass der Lehrstuhl für Prozessautomatisierung im Department of Chemical Engineering, wo ein Großteil der Arbeit stattfindet, seit 2007 von ABB gefördert wird, zeigt, wie eng die Zusammenarbeit ist.

—

ABB und das Imperial College London arbeiten zusammen an der Nutzung industrieller Prozessinformationen und Ressourcen, um Daten in direkte Handlungen umzuwandeln.

ABB in europäischen Projekten
Das Projekt Energy-SmartOps ITN (Innovative Training Network)[1] lief vom Februar 2011 bis zum Januar 2015 und befasste sich mit der integrierten Steuerung und dem integrierten Betrieb von Prozessen, rotierenden Maschinen und elektrischen Anlagen →2.

01

02

An dem vom Imperial College koordinierten Projekt waren neben ABB Endanwenderunternehmen wie BASF und Equinor sowie mehrere Hochschulen (Imperial College, Cranfield, ETH Zürich, TUZ Krakau und Carnegie Mellon) beteiligt. Im Rahmen von Energy-SmartOps wurden Überwachungssysteme entwickelt und getestet, die Messungen aus den prozesstechnischen, mechanischen und elektrischen Teilsystemen integrieren. Energy-SmartOps unterstützt eine geschlossene Überwachung und Regelung durch Erfassung von Informationen aus allen drei Teilsystemen und Entwicklung neuer Algorithmen zur expliziten Verwaltung der Schnittstellen und Interaktionen zwischen ihnen. Ein ITN ist ein Netzwerk für die Doktorandenausbildung, und Energy-SmartOps hat eine ganze Schar qualifizierter Forscher in den oben genannten Bereichen hervorgebracht, die sowohl über einen akademischen Doktorgrad (Ph.D.) als auch eine industrielle Ausbildung verfügen.

—

Es wurden Überwachungssysteme entwickelt und getestet, die Messungen aus den prozesstechnischen, mechanischen und elektrischen Teilsystemen integrieren.

Das REAL-SMART IAPP-Programm (Industry Academic Pathways and Partnerships)[2] begann im September 2010 und lief vier Jahre. Das Programm leistete einen wertvollen Beitrag zur digitalen Innovation auf dem Gebiet der messungsbasierten Überwachung und des Managements von Stromnetzen und der von ihnen gespeisten industriellen Verbraucher.

An dem ebenfalls vom Imperial College koordinierten Programm waren Übertragungsnetzbetreiber (Fingrid, National Grid und Statnett), Technologieanbieter (ABB und GE) und Hochschulen (Aalto-Universität, Imperial College London und TU Graz) beteiligt. Das interdisziplinäre Konsortium umfasste Experten aus den Bereichen elektrische Systeme, Modellierung, Instrumentierung, Signalanalyse, Zustandsüberwachung und Automatisierung von Öl-, Gas- und Chemieprozessen.

—
02 Das Projekt Energy-SmartOps wurde von den Marie-Skłodowska-Curie-Maßnahmen der EU unterstützt. (SmartOp-Banner: © 2018 Imperial College London; Marie-Curie-Banner: © Europäische Union).

—
03 ABB-Leitwarte.

—
Fußnote
2) Die Arbeiten wurden unterstützt vom Marie-Curie-FP7-IAPP-Projekt „Using realtime measurements for monitoring and management of power transmission dynamics for Smart Grid REAL-SMART“ (Vertragsnummer PIAP-GA-2009-251304).

Das IAPP-Programm hat unter anderem den Austausch von Forschern zwischen der Industrie und Hochschulen finanziert. So ermöglichte REAL-SMART Nachwuchsforschern von Hochschulen während ihrer Doktorandenzeit einen ersten Einblick in die industrielle Forschung und Entwicklung und bot erfahrenen Forschern die Möglichkeit zur vorübergehenden Tätigkeit

—

Die ABB-Leitwarte befindet sich in der Pilotanlage für Kohlenstoffabscheidung des Imperial College.

bei Industrie- bzw. Hochschulpartnern. Diese Maßnahmen wurden von der Europäischen Union im Rahmen der Marie-Skłodowska-Curie-Programme gefördert.

ABB-Demonstratoren

Besonders hervorzuheben ist die ABB-Leitwarte →3 in der Pilotanlage für Kohlenstoffabscheidung (Carbon Capture Pilot Plant) am Department of Chemical Engineering →4 des Imperial College. Eine Vereinbarung zwischen ABB und dem Imperial College sichert der Hochschule Zugang zu fortschrittlicher Leittechnik, Services und Unterstützung für die Anlage. Im Gegenzug hat ABB Zugang zur Pilotanlage für Kundendemonstrationen, Schulungen und die Erprobung neuer Technologien – und das mitten in London. Ein zweites Demonstrationssystem befindet sich in der Entwicklung. Im letzten Jahr unterzeichneten ABB und das Imperial College eine Absichtserklärung zur Untersuchung der Möglichkeiten für die Entwicklung eines einzigartigen digitalen Stromnetz-Demonstrationssystems unter Verwendung von ABB Ability™, dem integrierten branchenübergreifenden digitalen Konzept von ABB.

03

Prozessnetzwerkoptimierung – PRONTO
Ein weiteres Projekt, an dem ABB beteiligt ist, trägt den Namen PRONTO (PROcess NeTwork Optimization)[3]. PRONTO ist ein EID-Programm (European Industrial Doctorate), das durch die Marie-Skłodowska-Curie-Maßnahmen im Rahmen des EU-Rahmenprogramms für Forschung und Innovation „Horizon 2020“ (bzw. „Horizont 2020“) gefördert wird →5. Zu den Partnern des Konsortiums gehören führende Hochschulen wie das Imperial College London, die TU Dortmund, die Technisch-Naturwissenschaftliche Universität Norwegens, die AGH Wissenschaftlich-Technische Universität, die Cranfield University, die Universität von Valladolid und die Carnegie Mellon University sowie bekannte innovative Unternehmen wie BASF, Petronor, Equinor, Acciai Speciali Terni und INEOS.

Der Schwerpunkt von PRONTO ist die Optimierung von Prozessnetzwerken unter Berücksichtigung des Maschinenzustands und der Prozessleistung mit dem Ziel, einen effizienten und nachhaltigen Betrieb europäischer Prozessindustrien sicherzustellen. Zu den Forschungsthemen des Projekts gehören:

- Datenanalysen zur Beurteilung des Zustands und der Leistung von vernetzten Produktionsanlagen der Prozessindustrie
- Optimierung des Ressourceneinsatzes in Prozessnetzwerken unter Berücksichtigung von Echtzeit-Informationen über den Zustand und die Leistung der Prozessausrüstung
- Neue Konzepte für den Prozessbetrieb, die nach Auffassung der Industriepartner besonderes Potenzial besitzen

Das Konsortium bietet Nachwuchsforschern die Möglichkeit zur Ausbildung im Rahmen des EID-Programms, wobei der nichtakademische Sektor intensiv an der gemeinsamen Betreuung beteiligt ist. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf industrierelevanten Promotionsprojekten, die zu praktischen Demonstrationen führen. Die vielfältigen Facetten der Zusammenarbeit reichen vom Wissenstransfer und Austausch von Fallstudien bis hin zu gemeinsamen Veröffentlichungen und Brainstorming-Sessions bei Projektbesprechungen.

Eine Lösung kombiniert verschiedene Ansätze in einer innovativen Analysestruktur für eine transparente, flexible, modulare und skalierbare Zustandsüberwachung.

Das PRONTO-Projekt bringt kontinuierlich Innovationen im Bereich der Prozessoptimierung und Analyse hervor. Eine solche Entwicklung sieht vor, quantitative und qualitative Daten aus verschiedenen Quellen für die Prozessüberwachung zu verknüpfen, um eine zuverlässigere und robustere Zustandsbeurteilung zu ermöglichen →6. Die Motivation für die Forschungsarbeit liegt in der Tatsache, dass industrielle Prozesse und Maschinen eine Vielzahl von Daten aus unterschiedlichen Quellen generieren, die jeweils eine wertvolle Ressource für die Prozessüberwachung darstellen können. So könnten verschiedene Informationsquellen genutzt werden, um den Funktionszustand von Systemen zu überwachen, wobei sich jede Quelle bzw. jeder Sensor besser für die Diagnose einer anderen Fehlerart eignet. Eine Überwachung, bei der Daten aus mehreren Quellen zusammengeführt werden, ist potenziell in der Lage, eine größere Zahl von Fehlern mit größerer Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu diagnostizieren.

04

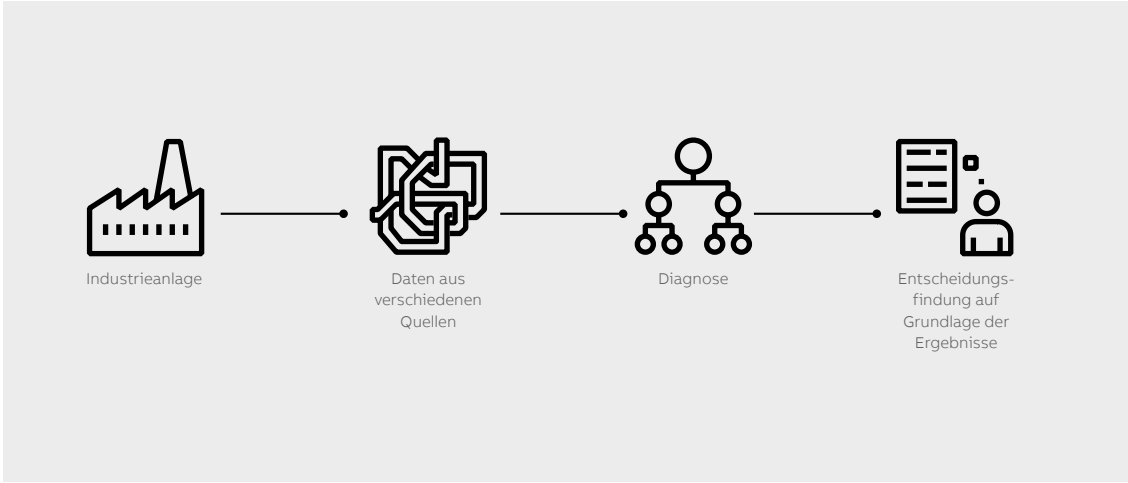
05

PRONTO
PROCESS NETWORK OPTIMIZATION

—
04 Pilotanlage zur Kohlenstoffabscheidung am Department of Chemical Engineering (Foto © 2018 Imperial College London).

—
05 Schwerpunkt des PRONTO-Projekts ist die Optimierung von Prozessnetzwerken.

—
06 Durch die Verknüpfung unterschiedlicher Daten lässt sich eine robustere und genauere Überwachung erreichen.



06

—
Literaturhinweis
[1] A. Stief et al. (2017): „Two stage data fusion of acoustic, electric and vibration signals for diagnosing faults in induction motors". Elektronika ir Elektrotechnika, Vol. 23, No. 6. S. 19–24.

—
Fußnote
3) Das Projekt wird gefördert durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizont 2020 der Europäischen Union unter der Marie-Curie-Fördervertragsnummer 675215.

Eine weitere Entwicklung basiert auf der Erkenntnis, dass neue Zustandsüberwachungsverfahren erforderlich sind, um die neuen Herausforderungen großer und heterogener Datenmengen zu bewältigen. Eine solche Lösung kombiniert probabilistische Ansätze wie Bayessche Interferenz und multivariate statistische Analysen wie die Hauptkomponentenanalyse in einer innovativen Analysestruktur, um ein transparentes, flexibles, modulares und skalierbares Gerüst für die Zustandsüberwachung bereitzustellen. Neben der Zusammenführung von Daten aus mehreren Quellen für eine genaue Fehleranalyse bietet die Methode dem Endanwender die Möglichkeit, den Entscheidungsfindungsprozess auf die Hauptursache zurückzuverfolgen und festzustellen, welche Signalarten zur Entscheidung beigetragen haben [1]. Diese Lösung ist nur eine von vielen, die zurzeit im Rahmen des Projekts entwickelt werden.

Digitalisierung und Kollaboration

Die Digitalisierung wird nicht nur die nächste Generation von Produkten, Systemen und Dienstleistungen bestimmen. Sie hat auch das Potenzial, bereits vorhandene und etablierte Anwendungen zu revolutionieren und neu zu beleben. Die neuen digitalen Lösungen werden eine noch genauere, zuverlässigere und ganzheitliche Überwachung vorhandener Anlagen ermöglichen und ein besser informiertes Management von Betriebsmitteln und Ressourcen erlauben.

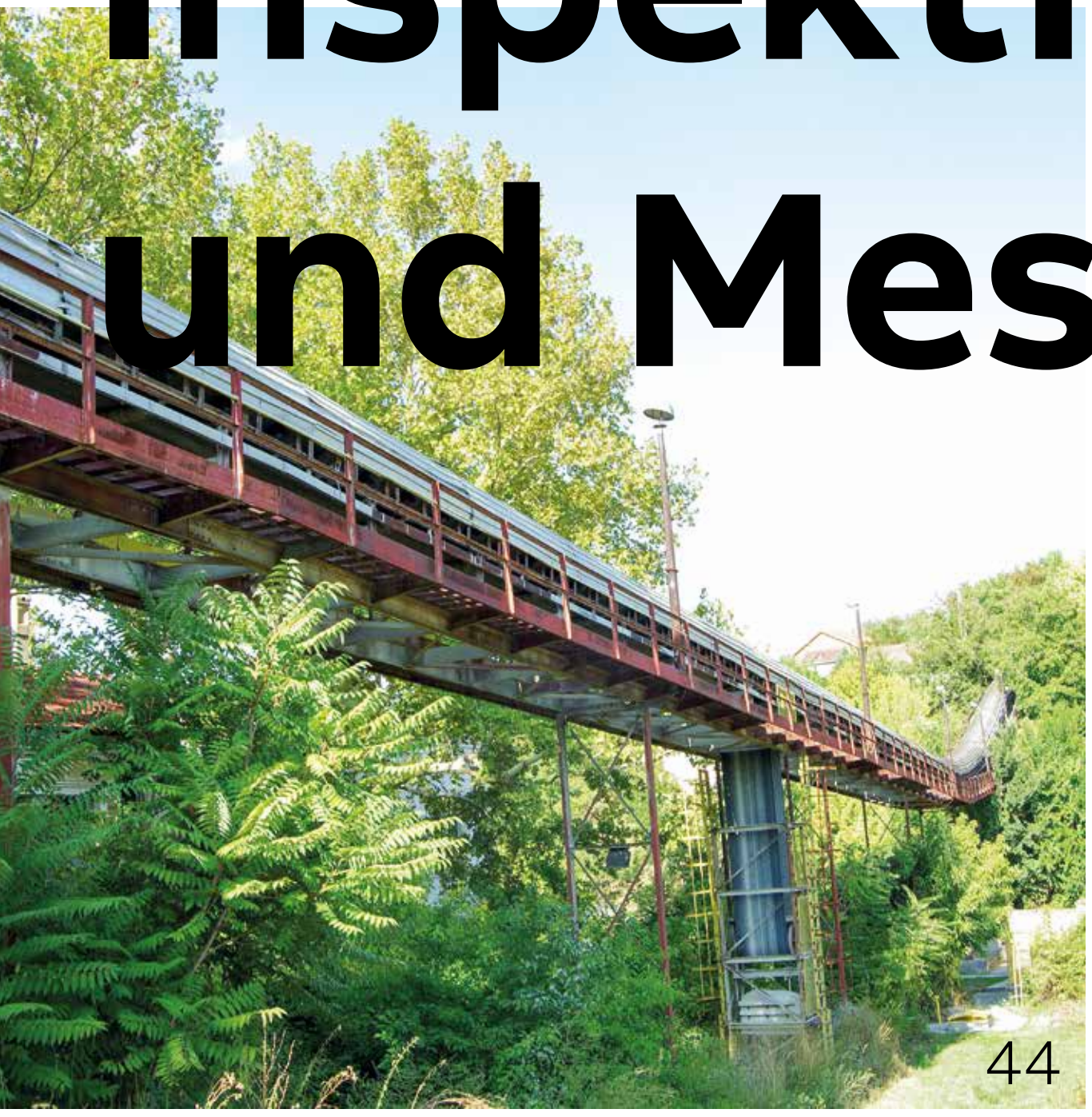
Dabei gibt es jedoch einige Herausforderungen zu bewältigen. So sind angesichts der zunehmenden Datenmengen aus Teilsystemen bessere Methoden erforderlich, um Informationen aus unterschiedlichen Quellen zu verknüpfen. Und während immer mehr Systeme immer mehr Daten liefern, verblassen die traditionellen Grenzen zwischen den verschiedenen prozesstechnischen, mechanischen und elektrischen Teilsystemen. Dies wiederum verlangt einen multidisziplinären Ansatz, der die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Elementen berücksichtigt.

—

Die neuen digitalen Lösungen werden eine noch genauere, zuverlässigere und ganzheitliche Überwachung vorhandener Anlagen ermöglichen.

Um diese und andere Herausforderungen zu bewältigen, beteiligt sich ABB weiterhin an verschiedenen kollaborativen Projekten mit führenden Hochschulen und anderen innovativen Unternehmen. Das Wissen und die Erfahrung, die im Rahmen solcher Kooperationen geteilt werden, liefern die Grundlage, um industrierelevante Herausforderungen mit neuesten digitalen Technologien zu meistern. Darüber hinaus – und vielleicht noch wichtiger – bieten derartige Kooperationen zwischen Industrie und Hochschulen talentierten Forschern der nächsten Generation den notwendigen Hintergrund und die notwendige Erfahrung, um auch langfristig solche digitalen Innovationen hervorzubringen. ●

Inspektion und Messu



44

50

n

ung

Die Erkennung betrieblicher Unregelmäßigkeiten an entfernten Standorten, in komplexen Umgebungen und in immer kleineren Ausprägungen erfordert neue Methoden der Betrachtung und Interpretation von Echtzeitdaten aus dem laufenden Betrieb. ABB bietet entsprechende Lösungen für verschiedene Branchen wie Bergbau, Öl & Gas und Energieübertragung.

44 ABB Ability™-Zustandsüberwachung von Förderbandrollen

50 Cloudbasierte Mehrphasen-Durchflussmessung

54 Chancen für elektrische Sensoren

54

INSPEKTION UND MESSUNG

ABB Ability™ – Zustands-überwachung von Förderbandrollen

Ungeplante Stillstände von Gurtbandförderern, wie sie im Bergbau vielfach zum Einsatz kommen, verursachen erhebliche Kosten und Produktionseinbußen. Während ABB eine Zustandsüberwachung für Motoren, Antriebe, Gurte und Transformatoren von Förderanlagen anbietet, bleiben die Tausenden von Rollen, die den Gurt und die Last tragen, meist unüberwacht – bis jetzt.

Eduardo Botelho
ABB Process Industries
São Paulo, Brasilien

eduardo.botelho@
br.abb.com

Harald Staab
ABB AG
Ladenburg, Deutschland

harald.staab@de.abb.com

01

—
01 Gurtbandförderer kommen in der Bergbauindustrie in allen Klimazonen und auch unter Tage zum Einsatz. Eine effektive und ökonomische Überwachung des Zustands der Tausenden von Tragrollen bietet große Vorteile.

Niedrige Marktpreise für viele Rohstoffe zwingen Bergbauunternehmen dazu, ihre Effizienz zu steigern. Hierbei spielt die Zuverlässigkeit der Betriebsmittel eine entscheidende Rolle. Eine Möglichkeit, die Zuverlässigkeit zu maximieren, besteht in der Einführung von Tools und Services zur intelligenten Prozessüberwachung, -analyse und -optimierung. Die Bandfördersysteme, die für den Bergwerksbetrieb häufig eine zentrale Rolle spielen, sind normalerweise bereits mit einer entsprechenden Überwachung für die Motoren, Antriebe, Gurte und Transformatoren ausgerüstet. Doch die Tausenden von Rollen, die den Gurt und die Last tragen, sind bisher weitgehend von der Überwachung

—

Bisherige Versuche, den Verschleiß von Tragrollen mithilfe von Vibrations- und Temperatursensoren zu messen, haben sich als unzuverlässig erweisen.

Das Problem mit Tragrollen

Während laute Tragrollen gegen Geräusch-emissionsvorschriften verstoßen können, vergeuden verschlissene Rollen nicht nur wertvolle Energie, sondern es kann auch zu übermäßigem Gurtverschleiß und -schieflauf oder im schlimmsten Fall zum Gurtriss oder Brand kommen. Alle diese Faktoren stellen zudem Gefährdungen für das Personal dar.

Gurtbandförderer kommen in allen Klimazonen, an hoch und niedrig gelegenen Standorten sowie unter Tage zum Einsatz →1. Die Gurte sind in der Regel mehrere Kilometer lang, haben eine Kapazität von mehreren Tausend Tonnen pro Stunde und bewegen sich mit mehreren Metern pro Sekunde. Solche Förderer besitzen mehrere Tausend Tragrollen →2–3. Ein Grundproblem bei der Verschleißerkennung an Tragrollen ist, dass sich Verschleiß mit verschiedenen Symptomen ankündigt – wie etwa Geräuschemissionen im Ultraschallbereich oder erwärmte Lagerflächen –, welche verschiedene Sensortechnologien erfordern. Bisherige Versuche, den Verschleiß von Tragrollen mithilfe von Vibrations- und Temperatursensoren an oder in den Tragrollen zu messen, haben sich im Hinblick auf die Erkennung von Verschleiß und Ausfällen als unzuverlässig erweisen. Tatsächlich war die Technik in vielen Fällen angesichts der rauen Einsatzbedingungen im Bergbauumfeld nicht zuverlässiger als die Rollen selbst.

02

Ein neuer Service für Tragrollen
ABB hat festgestellt, dass eine Kombination aus Ultraschall- und thermografischen Momentaufnahmen, die regelmäßig (z. B. täglich) erfasst werden, ausreichende Informationen liefert, um Verschleiß an Tragrollen lange vor einem Ausfall zu erkennen. Der Ansatz ähnelt den Inspektionsrunden durch den Betreiber, die zurzeit gängige Praxis sind, zeichnet sich aber durch eine deutlich bessere Konsistenz und Datenqualität aus, da bei den Inspektionsrunden häufig nur das Gehör oder handgeführte Wärmebildkameras und persönliches Urteilsvermögen zum Einsatz kommen. Dieses Vorgehen ist nicht nur kostspielig und inkonsistent, sondern wegen der Nähe zur laufenden Anlage auch eine Gefährdung für Inspektionsgänger.

Jetzt hat ABB ein System entwickelt, das die Inspektion der Tragrollen nicht nur vollautomatisch und äußerst konsistent, sondern auch mit höherer Empfindlichkeit und kosteneffektiver durchführt, als dies beim manuellen Vorgehen der Fall ist. Der neue Service nutzt ein automatisches Fahrzeug mit entsprechenden Sensoren und ermöglicht somit reproduzierbare, schnelle und sichere Inspektionen.

03

Der Service heißt ABB Ability Conveyor Roller Inspection Services (CRIS) und richtet sich an Unternehmen der Bergbau- und Metallindustrie weltweit. CRIS kann als eigenständiges Produkt oder als Ergänzung zu anderen ABB-Services für Bandanlagen angeboten werden. Der Service beinhaltet die automatisierte Überwachung sämtlicher Tragrollen und erkennt ausgefallende Rollen bzw. sagt deren Ausfall voraus. Dazu

> Jetzt hat ABB ein System entwickelt, das vollautomatisch, konsistent, mit höherer Empfindlichkeit und kosteneffektiver arbeitet.

wird der Zustand der einzelnen Rollen auf einer Zustandskurve →4 ermittelt, sodass auch ein frühes Verschleißstadium am Anfang des potenziellen Ausfallintervalls (P-F) erkannt wird. So können Rollen bestimmt werden, die beim nächsten geplanten Wartungsstillstand gereinigt, geschmiert oder ausgetauscht werden müssen.

Fahrzeug und Schienensystem
Eine bedeutende technische Herausforderung – neben der Bereitstellung der richtigen Sensortechnologien – besteht in der automatischen, präzisen und zuverlässigen Positionierung der Sensoren. Da mindestens Wärmebild- und Ultraschallaufnahmen erforderlich sind, kommen ortsfeste Sensorinstallationen nicht zuletzt aus Kostengründen nicht in Frage. Stattdessen müssen die Sensoren regelmäßig zu den entsprechenden Stellen gebracht werden und dort nur für die kurze Dauer der Datenaufnahme verbleiben.

—
02 Bandanlagen können mehrere Kilometer lang sein und mehrere Tausend Tragrollen haben.

—
03 Die Tragrollen rotieren mit hoher Geschwindigkeit und sind rauen Bedingungen mit Vibrationen, Stößen, Staub, Hitze usw. ausgesetzt.

—
04 CRIS überwacht den Zustand einzelner Tragrollen und erkennt diejenigen, die sich am Anfang des P-F-Intervalls befinden, sodass ein Tausch vor dem Totalausfall geplant werden kann.

—
05 Technologie-Prototyp des CRIS-Inspektionsfahrzeugs.

05a Das Inspektionsfahrzeug ist ein Zug mit einer Lokomotive und einem Sensorwagen. Der Sensorkopf verfügt über eine Schwenk- und Neigevorrichtung.

05b Die Schiene kann bei überdachten Bandanlagen an Position A oder C montiert werden. Die beste Sicht auf die Rollen bietet die Position B.

Als Sensorträger wurden Boden- und Luftfahrzeuge sowie der Fördergurt selbst in Erwägung gezogen. Als beste Lösung erwies sich jedoch ein schienengeführtes Fahrzeug, das Daten automatisch – und über mehrere Wochen hinweg – erfassen sollte, ohne selbst ein manuelles Eingreifen oder Wartung zu erfordern →5.

Für bestehende Anlagen ist die Schieneninstallation der aufwändigste Teil des Systems. Um die Kosten zu minimieren, wurde ein handelsübliches Winkelprofil gewählt, vorzugsweise aus Stahl, wie es weltweit in metrischen und zölligen Größen erhältlich ist. Die Halterungen, mit denen die Schiene an der Förderanlage montiert wird, sind ebenfalls kostengünstig und müssen lediglich für die Befestigung an der jeweiligen Anlage angepasst werden.

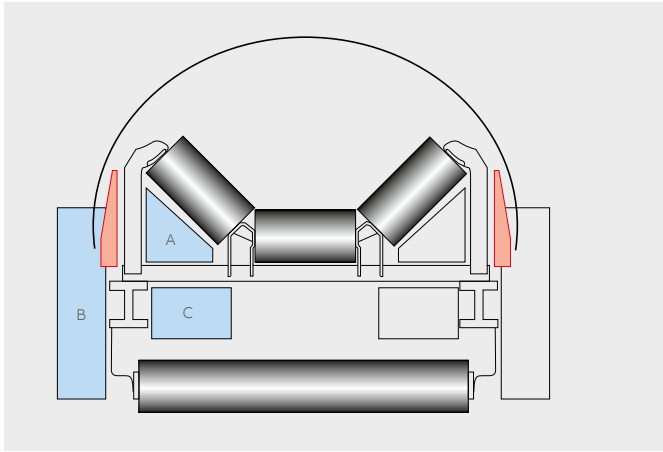
Der Sensorwagen steuert die Bewegung der Lokomotive und die Position des Sensorkopfs.

Das Fahrzeug ist ein hängender (aus Stabilitätsgründen) Zug mit mindestens einer Lokomotive und einem Sensorwagen. Die Lokomotive enthält den Fahrantrieb und eine Batterie als Stromversorgung. Der Sensorwagen steuert die Bewegung der Lokomotive und die Position des Sensorkopfs an einer Schwenk- und Neigevorrichtung. Die Inspektionsfahrten werden vorprogrammiert und nach einem regelmäßigen Fahrplan durchgeführt. So ist keine durchgängige Funkverbindung zum Fahrzeug erforderlich, und das Verhalten des Systems ist vorhersehbar und konsistent.

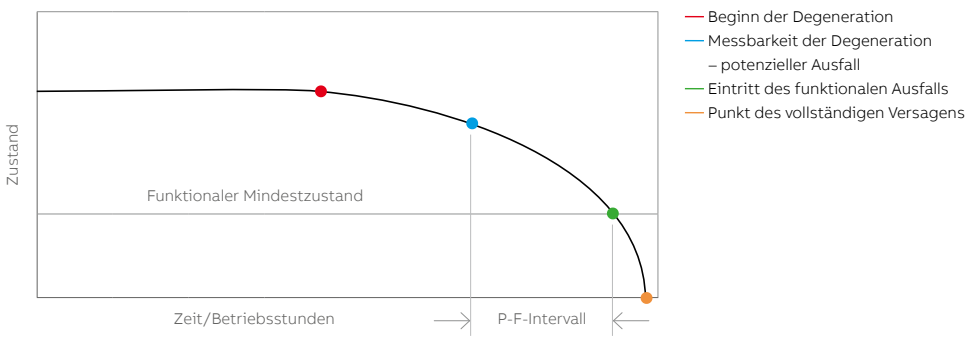
Der Zug wiegt insgesamt nur 6 kg. Ein mögliches Entgleisen wird mechanisch verhindert, wodurch ein sicherer Betrieb gewährleistet und Verletzungsgefahren für Personal praktisch ausgeschlossen werden. Das Fahrzeug verfügt über eine Gummihülle und ein geneigtes Dach, um Schäden am Fahrzeug durch herabfallende Steine oder Geröll zu verhindern.

05a

05b



05c



04

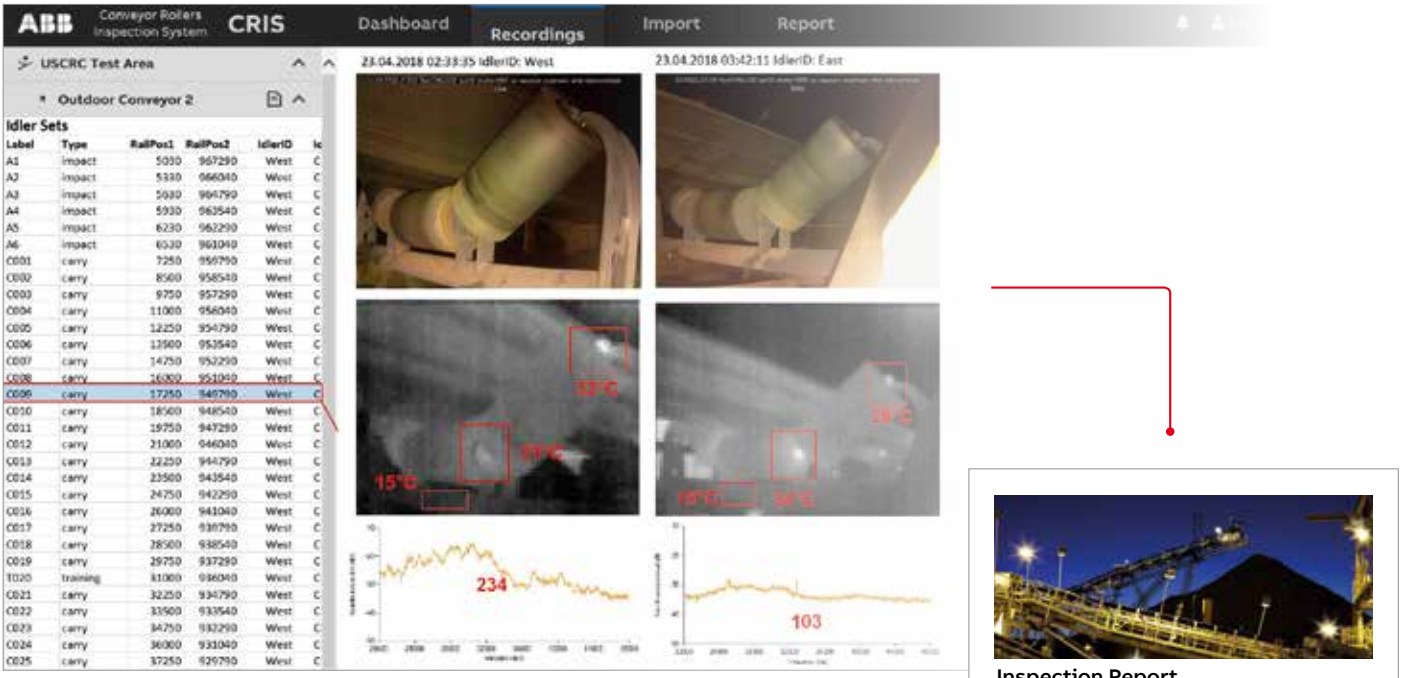
06a

06b

Flexibilität der Installation
Für den Betrieb an unterschiedlichen Anlagenkonstruktionen und bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen sind verschiedene Ausführungen möglich →6:

- Die Schiene kann an einer oder an beiden Seiten der Bandanlage installiert werden. Eine beidseitige Installation verbessert die Erkennung, da jede Tragrolle aus verschiedenen Blickwinkeln untersucht wird.
- Schienenkurven ermöglichen das Umfahren von Hindernissen oder den Wechsel zwischen den Positionen A, B und C in →5c. Der Mindestradius beträgt zurzeit 1 m. Sowohl horizontale als auch vertikale Kurven sind möglich. Die Kurven werden mit einer Biegemaschine vorgefertigt und an den Montageort transportiert.
- Im normalen Reibungsbetrieb sind Steigungen bis zu 30° möglich. Für steilere Abschnitte kann ein Zahnstangenantrieb hinzugefügt werden.
- Abhängig von den Befestigungspunkten für die Schiene gibt es verschiedene Arten von Halterungen. Die Halterungen und die einzelnen Schienenstücke werden vorzugsweise verschweißt, es besteht aber auch die Möglichkeit zur Verschraubung, z. B. bei Kohleförderbändern und Anlagen unter Tage.
- Zum zusätzlichen Schutz der Schiene und des Fahrzeugs kann die Schiene überdacht werden.
- Bei langen Förderanlagen oder Schrägförderern, die vom Inspektionsfahrzeug eine höhere Traktionsleistung oder Batteriekapazität erfordern, kann eine zusätzliche Lokomotive eingesetzt werden. Mit einem weiteren Sensorwagen kann die Inspektion beschleunigt bzw. die Zustandserkennung verbessert werden.
- Der Standard-Sensorkopf verfügt über eine Wärmebildkamera, eine optische Kamera mit LED-Licht und ein Ultraschall-Mikrofon. Für bestimmte Anlagentypen oder Umgebungen sind andere Sensorkombinationen möglich, z. B. zusätzliche oder unterschiedliche Mikrofone für eine bessere Schallerfassung oder ein Sensorkopf ohne Kameras für sehr schmutzige Umgebungen.

07



08

—
06 Möglichkeiten der Schieneninstallation.

06a Die Konstruktion der Halterung kann an die Anlagenkonstruktion angepasst werden.

06b Horizontale und vertikale Kurven sowie Steigungen sind möglich.

—
07 Screenshot der Bedieneroberfläche von CRIS mit einer vollständigen Liste der Tragrollen (links), deren Position auf dem Satellitenbild (Mitte) und den Ergebnissen bisheriger Analysen der Inspektionsdaten (rechts).

—
08 Screenshot der Bedieneroberfläche von CRIS mit Analyseergebnissen und Zugang zu den Rohdaten. Ein Inspektionsbericht wird regelmäßig ausgegeben, der als Grundlage für die Planung der Rollenwartung genutzt wird.

Nach jeder Inspektionsfahrt dockt das Fahrzeug am Batterieladeanschluss einer Basisstation an und lädt sämtliche Inspektionsdaten für die Analyse hoch.

Die grafische Benutzeroberfläche von CRIS bietet Serviceexperten die Möglichkeit, Inspektionsfahrten aus der Ferne zu planen und die Rohdaten anzuzeigen und zu analysieren →7, 8.

—

Durch Analyse vergangener und aktueller Daten wird eine detaillierte Rollenzustandskarte für die gesamte Bandanlage erstellt.

Jede Inspektionsfahrt liefert eine detaillierte Momentaufnahme vom aktuellen Zustand jeder Tragrolle. Durch Analyse vergangener und aktueller Daten wird eine detaillierte Rollenzustandskarte für die gesamte Bandanlage erstellt. Darüber hinaus kann mithilfe von Trendanalysen die Ausfallwahrscheinlichkeit geschätzt und der Austausch einzelner Rollen entsprechend geplant werden.

CRIS stellt Kunden in der Bergbauindustrie ein flexibles Inspektionswerkzeug zur Verfügung, das vollständig autonom, leicht zu installieren, und einfach zu bedienen und zu warten ist. CRIS fährt neben dem Förderband entlang und nutzt Sensoren, die auf eine Vielzahl verschiedener physikalischer Parameter abgestimmt sind, um bevorstehende Ausfälle von Tragrollen zu erkennen. Die erfassten Daten ermöglichen es dem Kunden, ungeplante Stillstandzeiten, Wartungskosten, Produktionseinbußen und die Gefährdung von Personal zu reduzieren. ●

Danksagung
Die Autoren danken den Mitgliedern des Kernteams für ihr Engagement, die harte Arbeit und die wertvollen Beiträge zum CRIS-Projekt: Otavio Rocha und Tiago Prata, ABB Process Industries, São Paulo, Brasilien; Harshang Shah, Daniel Lasko und William Eakins, ABB Corporate Research, Bloomfield, CT, USA; und Maria Rozou, ABB Process Industries, Baden-Dättwil, Schweiz.

INSPEKTION UND MESSUNG

Cloudbasierte Mehrphasen-Durchflussmessung

Ölfelder produzieren in der Regel ein Gemisch aus Öl, Wasser und Gas. Das Messen dieser Bestandteile ist seit Langem eine teure und knifflige Angelegenheit. Nun hat ABB in Zusammenarbeit mit Arundo Analytics einen cloudbasierten virtuellen Mehrphasen-Durchflussmesser entwickelt, der seine Messungen aus vorhandenen Daten und Geräten ableitet.

Espen Storkaas
ABB Offshore Oil & Gas, Digital ABB
Oslo, Norwegen

espen.storkaas@no.abb.com

Mogens Mathiesen
Arundo Analytics
Oslo, Norwegen

Das Bild einer Ölquelle, bei der eine Fontäne aus Öl in den Himmel schießt, ist eher veraltet und irreführend. Soweit wir wissen, wurden alle diese produktiven, leicht zugänglichen Ölfelder bereits vor langer Zeit entdeckt und erschlossen. Die moderne Öl- und Gasförderung ist diskreter und findet häufig in entlegenen Gegenden oder unter Wasser statt. Und ein Förderstrom, der so rein ist, wie wir es von alten Bildern her kennen, ist eine Seltenheit. In Wirklichkeit bestehen die Förderströme aus einer Lagerstätte vielmehr aus einem sich stets verändernden Gemisch aus Öl, Gas, Wasser und Sand →1.

Mehrphasen-Durchflussmesser sind zwar kleiner und günstiger als Abscheider, aber dennoch teuer in der Anschaffung, Installation und im Betrieb.

Mit zunehmendem Alter einer Ölquelle steigt der Anteil an anfallendem Wasser (die sogenannte Verwässerung). Bei einigen Quellen liegt die Verwässerung bei über 95 %.

Obwohl Sandsiebe in der Nähe der Förderzone einen Großteil des Sandes auffangen, kann es sein, dass ein gewisser Teil im Förderstrom verbleibt – was allerdings unerwünscht ist, da fließender Sand eine stark erosive Wirkung auf Rohrleitungen, Ventile usw. hat.

Gas in kleinen, nichtkommerziellen Mengen wird abgefackelt. Größere Gasmengen werden einem Förderstrom zugeführt.

Traditionelle Mehrphasen-Durchflussmessung
Die Messung der verschiedenen Bestandteile dieser Mehrphasenströmung liegt klar im Interesse der Ölfeldbetreiber. Tatsächlich hat die Mehrphasen-Durchflussmessung in der Öl- und Gasindustrie eine lange Geschichte, und im Laufe der Jahrzehnte gab es viele verschiedene Ansätze, die alle mit Vor- und Nachteilen verbunden waren.

Eine verbreitete Technologie sind Schwerkraftabscheider, in denen sich die verschiedenen Bestandteile in einzelnen Schichten absetzen und anschließend abgeführt werden können. Allerdings sind Abscheider mit Latenzproblemen verbunden und müssen bei großen Durchflussmengen sehr groß und schwer sein, was angesichts des knappen und teuren Platzes auf Offshore-Plattformen und an anderen Förderstandorten alles andere als ideal ist.

01

—
01 Öl strömt nicht in reiner Form aus einer Lagerstätte, sondern als Gemisch aus Öl, Gas, Wasser und Sand. Für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Ölfelds ist eine genaue Messung der einzelnen Bestandteile erforderlich.

Teilabscheider kosten zwar weniger, sind kleiner und können leichter transportiert werden, aber sie liefern nur eine Momentaufnahme der Mehrphasenströmung.

Mehrphasen-Durchflussmesser erfreuen sich seit einigen Jahrzehnten ebenfalls großer Beliebtheit →2. Diese Messgeräte nutzen verschiedene

—

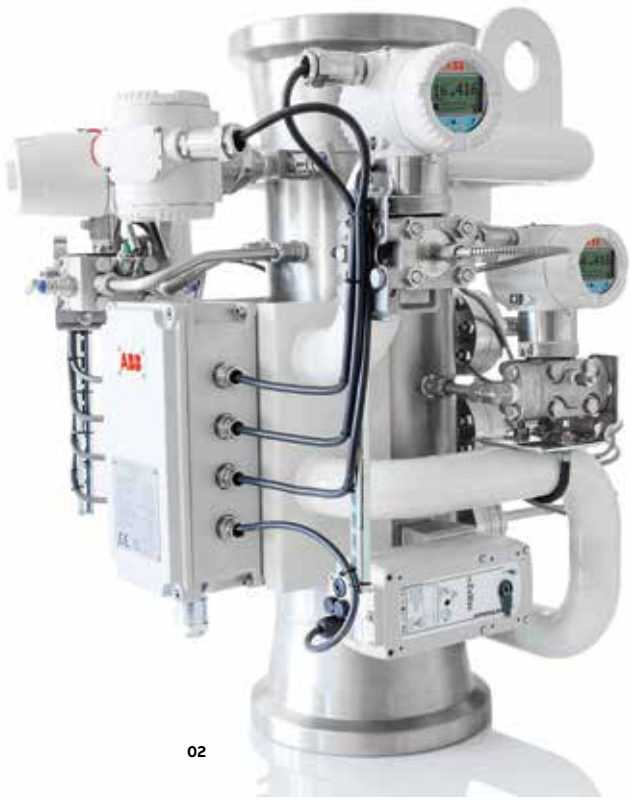
So können Betreiber von einer Mehrphasenmessung profitieren, die kostengünstig und skalierbar ist und keine zusätzliche Hardware vor Ort erfordert.

Prinzipien und physikalische Parameter – wie Temperatur, Druck, Dichte, Ultraschall und Elektromagnetismus –, um die einzelnen Bestandteile der Strömung zu berechnen. Die Fülle der Messprinzipien und der dazugehörigen Hard- und Software hat jedoch ihren Preis: Die Messgeräte sind kompliziert herzustellen und zu kalibrieren, und viele erfahrene Techniker und Ingenieure, die damit vertraut sind, gehen in den Ruhestand. Auch wenn sie kleiner und kostengünstiger sind als Abscheider, sind Mehrphasen-Durchflussmesser dennoch teuer in der Anschaffung, Installation und im Betrieb. Und da alle Öl- und Gasanwendungen unterschiedlich sind, können keine Durchflussmesser von der Stange verwendet werden, d. h. die Geräte müssen individuell nach den besonderen Anforderungen des Kunden gefertigt werden. Daher sind Ölfeldbetreiber sehr wählerisch, was den Einsatzort der Geräte angeht.

Dank der digitalen Technik können Betreiber jeder Größe nun von einer Mehrphasenmessung profitieren, die kostengünstig und skalierbar ist und keine zusätzliche Hardware vor Ort erfordert.

Von der physischen zur virtuellen Mehrphasenmessung

Arundo Analytics und ABB haben zusammen die ersten cloudbasierten virtuellen Mehrphasen-Durchflussmesser für die Offshore-Öl- und -Gasindustrie entwickelt. Die neue Lösung wird Bestandteil des vollständig integrierten ABB Ability™-Portfolios.



02

Die Erfahrungen von Arundo Analytics und ABB ergänzen sich optimal. Arundo Analytics bietet cloudbasierte und edgefähige Software für die Implementierung und das Management von IDS-Lösungen (Industrial Data Science) im Unternehmensmaßstab. Die Software nutzt maschinelle Lernverfahren und andere

—

Der virtuelle Durchflussmesser liefert dem Nutzer Echtzeitdaten zu den Eigenschaften der Bestandteile jedes beliebigen Förderstroms.

analytische Methoden, um industrielle Daten mit fortschrittlichen Modellen zu verknüpfen und Erkenntnisse für eine bessere Entscheidungsfindung zu gewinnen. ABB hingegen verfügt über mehr als 50 Jahre Erfahrung in der Modellierung und Simulation, darunter auch der Modellierung einzelner Phasen und gemischter Fluide in Mehrphasenströmungen, was wertvolle analytische Erkenntnisse für die Öl- und Gasindustrie liefert.

Der neue cloudbasierte ABB Ability Virtual Multiphase Flowmeter verbindet ABB Ability und die Arundo-Software Composer und Fabric und macht die Mehrphasenmessung für Öl- und Gasunternehmen deutlich erschwinglicher. Die vom virtuellen Durchflussmesser bereitgestellte

—

Ein bedeutendes Merkmal des neuen Produkts ist, dass es vorhandene Informationen über das Feld und Daten von der Standardinstrumentierung nutzt.

Analytik liefert dem Nutzer Echtzeitdaten zu den Eigenschaften der Bestandteile jedes beliebigen Förderstroms →3.

Keine zusätzliche Ausrüstung notwendig

Ein bedeutendes Merkmal des neuen Produkts ist, dass es vorhandene Informationen über das Feld und Daten von der bereits am Bohrloch und dem Rohrleitungssystem installierten Standardinstrumentierung nutzt. Aus diesen Datenquellen werden die einzelnen Echtzeit-Durchflussmengen für Öl, Gas und Wasser errechnet. Das bedeutet, dass der Virtual Multiphase Flowmeter keine physischen Mehrphasen-Messgeräte oder spezielle Hardware benötigt – er nutzt einfach die Geräte, die bereits vorhanden sind, wie etwa wie etwa Druck-, Temperatur- und Durchflusssensoren. Jedes qualifizierte Gerät von jedem Hersteller kann verwendet werden.

Die finanziellen Vorteile liegen auf der Hand und sprechen für sich: Indem bereits vorhandene Technik genutzt wird, können Betreiber mehrere Hunderttausend Dollar sparen, sie die sonst für die Beschaffung, Einrichtung und den Support von Mehrphasen-Messausrüstung wie Abscheider oder Durchflussmesser ausgeben würden. Darüber hinaus entfällt die Suche nach qualifizierten Spezialisten für die Installation, Inbetriebnahme und Kalibrierung von Abscheidern oder Durchflussmessern.

Weitere Einsparungen ergeben sich dadurch, dass auf eine Außerbetriebnahme von Bohrlöchern verzichtet werden kann. Der ABB Virtual Multiphase Flowmeter kommt ohne Eingriffe aus, d. h. Bohrlöcher müssen nicht aus der Produktion genommen werden, um eine physische Durchflussmessung zu ermöglichen, sodass der potenzielle Umsatzverlust von mehreren Tausend Barrel nicht geförderten Öls vermieden wird.

—
02 Mehrphasen-Durchflussmesser von ABB.

—
03 Das Tool hilft durch einfache und klare Darstellung dabei, den Nutzen der erfassten Daten zu maximieren und Bereiche für potenzielle Verbesserungen im Förderbetrieb zu identifizieren.

Von Cloud zu Cloud

Das Tool nutzt ein Dreiphasen-Strömungsmodell auf der Grundlage spezifischer Bohrlochdaten, darunter:

- Informationen zu Bohrlochgeometrie und -profil wie Länge, Neigung, Durchmesser usw.
- Druck-, Volumen- und Temperaturdaten
- Eigenschaften des Drosselventils am Bohrlochkopf
- Fluidzusammensetzungen aus Labortests
- Betriebsdaten von mindestens drei Monaten

Die von den Feldgeräten erfassten Echtzeitdaten werden dazu genutzt, das Modell zu aktualisieren und seine interpretative Leistungsfähigkeit kontinuierlich zu verbessern.

Sowohl ABB Ability als auch die Software von Arundo Analytics sind cloudbasiert. Dies erleichtert nicht nur den Austausch von Daten zwischen beiden Plattformen, sondern auch mit allen relevanten und autorisierten Teilen des

—

Sowohl ABB Ability als auch die Software von Arundo Analytics sind cloudbasiert, was den Austausch von Daten erleichtert.

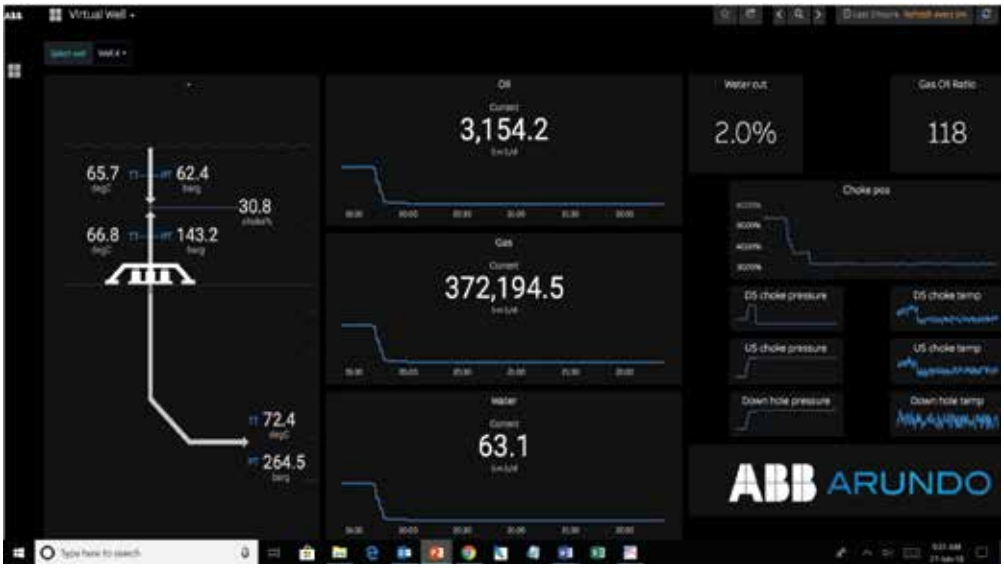
Kundenunternehmens. Ein Dashboard ermöglicht den Zugang zu allen Daten des Virtual Multiphase Flowmeters, die in einem Datenrepository des Kunden gespeichert sind.

Dank der Skalierbarkeit des Tools können Unternehmen, die bislang nicht in der Lage waren, ihre Mehrphasenströmungen kontinuierlich zu messen, dies nun zu einem Bruchteil der Kosten machen, die zuvor für die Einrichtung der notwendigen Infrastruktur erforderlich gewesen wären. Wird der Betrieb ausgeweitet oder ist eine umfangreichere Überwachung erforderlich, ermöglicht das skalierbare Pay-As-You-Go-Modell eine einfache Erweiterung der Funktionalität. Hat ein Unternehmen das Tool einmal abonniert, kann es universell verfügbar gemacht werden, d. h. es kann weltweit zur Überwachung und zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von mehreren Bohrlöchern genutzt werden.

Mehrphasenströmungen und mehr

Da es immer schwieriger und teurer wird, rentable und zugängliche Öl- und Gasreserven zu finden und zu erschließen, ist es wichtig, die Effizienz und Produktivität vorhandener Anlagen zu optimieren. Der Virtual Multiphase Flowmeter bietet Analysen als Service und liefert Ölfeldbetreibern Echtzeitdaten zu den Eigenschaften der Bestandteile jedes beliebigen Förderstroms. Dies ermöglicht eine bessere Transparenz des Betriebs, was wiederum dabei hilft, kostengünstige, zuverlässige Lösungen zu finden und Betriebskosten zu minimieren. Betreiber aller Größen können von dieser ökonomischen und skalierbaren Lösung profitieren.

Der Einsatz der Arundo-Software zur Verknüpfung physikalischer Modelle mit neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der IT und des maschinellen Lernens bietet ABB die Möglichkeit, auf den bei der Entwicklung des Virtual Multiphase Flowmeter gewonnenen Erfahrungen aufzubauen und zusätzliche innovative, cloudbasierte, datengestützte Anwendungen für die Öl- und Gasindustrie bereitzustellen. ●



03

INSPEKTION UND MESSUNG

Chancen für elektrische Sensoren

Die Nachfrage nach Sensoren zur Messung von Strom, Spannung und Leistung auf allen Spannungsebenen steigt. Technische und leistungsbezogene Anforderungen an diese Sensoren können durch optimale Nutzung neuer Werkstoffe und Technologien, verbesserte Simulationsverfahren und innovative Designansätze erfüllt werden.

Adrian Hozoi
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

adrian.hozoi@de.abb.com

Rolf Disselnkötter
Ehemaliger ABB-Mitarbeiter

Die Notwendigkeit zur Messung von Strom, Spannung, Leistung und Energie hat es in der Übertragung, Verteilung und Regelung von elektrischer Energie schon immer gegeben [1] →1. Angesichts der zunehmenden Integration dezentraler erneuerbarer Energiequellen, des steigenden Bedarfs an Stromrichtern für ein flexibles Lastmanagement, der aufkommenden

Für viele spezifische technische und wirtschaftliche Anforderungen gibt es keine Lösungen von der Stange.

Elektromobilität →2, des Ausbaus vorhandener Netze und der sich verändernden Strukturen intelligenter Netze, die den Energiefluss regeln und optimieren und gleichzeitig die erforderliche Versorgungsqualität sichern müssen, gewinnen diese Messungen zusätzlich an Bedeutung. Hinzu kommt eine starke Nachfrage durch die Erneuerung alternder Infrastruktur, denn mit einer Modernisierung geht häufig der Wunsch zur Verbesserung der Funktionalität und Zuverlässigkeit bzw. zur digitalen Integration der Ausrüstung einher.

—
01 Erhebliche Veränderungen in der Übertragung, Verteilung und Regelung elektrischer Energie erfordern wesentliche Fortschritte in der Messung von Strom, Spannung, Leistung und Energie. Neue Technologien und Verfahren machen dies möglich. (Foto: Anthony Byatt).

01

In allen Fällen ist eine genaue Messung und Regelung von elektrischen Parametern an vielen Punkten im Netz zu Schutz-, Abrechnungs-, Überwachungs- und Regelungszwecken erforderlich. Dabei genügt es nicht, nur die Anzahl der elektrischen Sensoren zu erhöhen. In vielen Fällen bestehen spezifische technische und wirtschaftliche Anforderungen, für die es keine Lösungen von der Stange gibt. Hier werden neue Designs und elektronische Lösungen neue Freiheiten bieten und die digitale Integration in Schutz- und Steuerungssysteme erleichtern. Neue Normen (wie die IEC 61869, IEC 61850, IEC 62052, IEC 62053 usw.) berücksichtigen diese Entwicklungen.

—

Normalerweise ist es nicht einfach, Sensoren zu konzipieren, die genauer sind als Messwandler.

Anwendungen auf allen Spannungsebenen
Die Anwendungsgebiete der elektrischen Sensoren von ABB erstrecken sich über alle Spannungsebenen – angefangen von Niederspannungs-(NS-)Anwendungen in der Gebäudeautomation oder industriellen Stromverteilung →3 und der Regelung von Stromrichtern und Antrieben über den Schutz und die Überwachung von Schaltanlagen →4 oder großen Maschinen im Mittelspannungs-(MS-) Bereich [2] bis hin zu gasisolierten Schaltanlagen (GIS) oder luftisolierten Schaltanlagen (AIS) für Hochspannung (HS). Im MS- und HS-Bereich besteht zudem ein Bedarf an Sensoren in der Sekundärtechnik, z. B. am Eingang von Relais →5, die sich auf der NS-Ebene befinden, aber mit zusätzlichen spezifischen Anforderungen verbunden sind.

In vielen Anwendungen wäre es zudem von Vorteil, wenn herkömmliche passive Messwandler durch kleinere, leichtere und kostengünstigere Strom- und Spannungssensoren ersetzt werden könnten. Solche Sensoren, die auch als nichtkonventionelle Messwandler (NCITs) bezeichnet werden, lassen sich leichter in vorhandene Strukturen von MS-Schaltanlagen wie GIS-Container, Durchführungen oder Stützisolatoren →6 integrieren, was den Platzbedarf reduziert. Andererseits ist es nicht so einfach, Sensoren zu konzipieren, die genauer sind als Messwandler.

Für einen Einsatz von Sensoren sprechen nicht nur die oben genannten Vorteile, sondern auch die Tatsache, dass an immer mehr Stellen Hilfsenergie für die Elektronik zur Verfügung steht, was eine Versorgung durch die Messwandler überflüssig macht. Außerdem kommen immer mehr Gleichstromanwendungen auf den Markt, die nicht mit passiven Messwandlern abgedeckt werden können.

—

Elektrische Sensoren sollten einen großen Dynamikbereich abdecken, um die Zahl der für eine Anwendung erforderlichen Versionen zu reduzieren.

Während optische Strom- und Spannungssensoren bislang vorwiegend bei sehr hohen Strom- bzw. Spannungsamplituden zum Einsatz kommen [3], werden typische MS- und NS-Anwendungen fast ausschließlich von nicht optischen Lösungen wie Spannungsteilern, Nebenwiderständen, induktiven Stromsensoren und Stromsensoren auf der Basis von Magnetfeld-Sensorelementen abgedeckt. Der Grund hierfür liegt in den erheblich geringeren Budgets im NS- und MS-Bereich. Obwohl es bereits viele Produkte dieser Art auf dem Markt gibt, hat sich gezeigt, dass fast immer eine maßgeschneiderte Sensorlösung erforderlich ist, wenn entscheidende Verbesserungen bei einer bestimmten Anwendung erzielt werden sollen.

Herausforderungen

Da sie intrinsisch selbstkompensierend sind, arbeiten gut konzipierte passive Messwandler nahezu linear und mit einer geringen Phasenverschiebung. Innerhalb ihres normalen

02

—
02 ABB-Schnellladestation Terra 53 für Elektrofahrzeuge.

—
03 Die NS-Leistungsschalterfamilie Emax 2.

Betriebsbereichs sind sie wenig empfindlich gegenüber externen Feldern, Temperatur- und Alterungseffekten. Außerdem sind sie eigengespeist und unterliegen keinerlei Gleichspannungsversatz (DC-Offset). Aktive Sensoren sind anders: Sie benötigen eine zusätzliche Stromversorgung und – je nach Funktionsweise – spezielle Maßnahmen, um eine ausreichend hohe Genauigkeit sicherzustellen.

Darüber hinaus sollten elektrische Sensoren einen großen Dynamikbereich abdecken, um die Zahl der für eine bestimmte Anwendung erforderlichen Versionen zu reduzieren. Außerdem gibt es Anwendungen, die eine große Bandbreite benötigen (z. B. die Stromrichterregelung) oder einen sehr geringen Stromverbrauch erfordern (z. B. autonome Geräte). Weitere mögliche Anforderungen sind eine hohe Zuverlässigkeit der Elektronik oder ein geringes Übersprechen bei einer hohen Integrationsdichte in mehrphasigen Systemen. Bei DC-Anwendungen ist zudem ein geringer Versatz zwingend notwendig.

03

Diese Ziele zu erreichen, kann sehr anspruchsvoll sein und erfordert häufig neue Designansätze. Die Vorteile, die Sensoren bieten, wie eine geringe Größe und niedrige Kosten, eine erweiterte Funktionalität und eine einfache mechanische und elektrische Integration, sind den Aufwand jedoch wert. Da sich die Anforderungen je nach Anwendung stark voneinander unterscheiden, müssen optimierte Sensorlösungen spezifisch sein. Leider gibt es keinen allgemeingültigen Ansatz.

—

Das Volumen und das Gewicht des Stromwandlers konnten auf 35 % und die Kosten auf 25 % reduziert werden.

Details, auf die es ankommt

Es gab bereits erfolgreiche Sensorentwicklungen, z. B im Rahmen eines Projekts zur Verbesserung und kostengünstigeren Herstellung von Strom- und Spannungssensoren auf der Basis von Rogowski-Spulen und ohmschen Spannungsteilern. Sensoren dieser Art wurden in verschiedenen MS-Produkten wie Blockkombisensoren, Durchführungen und Stützisolatoren implementiert →6.

04

Der Schwerpunkt bei diesen Projekten lag auf der Verbesserung der Amplituden- und Phasengenauigkeit in erweiterten Dynamikbereichen sowie der Reduzierung von magnetischem und elektrischem Übersprechen unter Berücksichtigung von Alterungs- und Temperaturdrift. Die Designs, die Materialwahl

—

Für die erfolgreiche Entwicklung ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschern, Lieferanten und der akademischen Welt entscheidend.

und die Fertigungsprozesse wurden in enger Zusammenarbeit mit Komponentenlieferanten optimiert, um eine bessere Wicklungshomogenität, Temperatur- und Alterungsstabilität und Spannungsfestigkeit der Sensoren zu erreichen. Die Erfüllung dieser anspruchsvollen Anforderungen wurde durch umfangreiche Tests bestätigt. Getestet wurden dabei sowohl die analogen Ausgänge der einzelnen Sensorelemente als auch die Verknüpfung der Sensoren mit einer sogenannten digitalen Merging Unit mit Signalverarbeitung, Autokalibrierung und einer Schnittstelle gemäß IEC 61850-9-2LE mit Zeitsynchronisation.

Aufgrund des innovativen Designs des →6, der durch mehrere ABB-Patente geschützt ist, konnten die Größe und die Kosten des Geräts in etwa halbiert werden, während die Genauigkeit und die Spannungsfestigkeit erheblich verbessert wurden. Die neue Technologie wurde inzwischen in einer Vielzahl von MS-Sensoren von ABB integriert, und ABB ist langfristige Kooperationen mit neuen Lieferanten eingegangen.

Ziel eines jüngeren Entwicklungsprojekts war es, das Design der Anpassungstransformatoren in Schutzrelais für die elektrische Energieübertragung zu verbessern →5, die die Schnittstelle zwischen der Relaiselektronik und den primären HS-Stromwandlern mit einem Bemessungs-Ausgangsstrom von 1 A bzw. 5 A bilden.

—
04 MS-Schaltanlage vom Typ UniGear ZS1.

—
05 Schutzrelais REC 650 aus der Relion-Produktreihe.

Auch hier lag der Schwerpunkt auf der Reduktion von Größe und Kosten bei gleichzeitiger Verbesserung der Toleranz im Hinblick auf überlagerte DC-Impulse, um eine Beständigkeit gegen Kurzschlussbedingungen und Überströme bis zum 100-fachen des Bemessungsstroms zu gewährleisten.

—

Kostendruck und spezielle technische Anforderungen machen häufig maßgeschneiderte Lösungen und innovative Konzepte erforderlich.

In diesem Fall entschied man sich für eine Lösung mit einem Kleinsignal-Stromwandler →7. Da das Relais über eine eigene Stromversorgung verfügt, ist keine Versorgung durch den Stromwandler erforderlich, der somit mit einer sehr geringen Last kombiniert werden kann. Dank dieses Ansatzes in Kombination mit einem neuen Design und einer optimierten Materialwahl für den Magnetkern ist es gelungen, die Anforderungen zu erfüllen und die Genauigkeit erheblich zu verbessern. Gleichzeitig konnten das Volumen und das Gewicht des Stromwandlers im Vergleich zu den in aktuellen Produkten implementierten Lösungen auf 35 % und die Kosten auf 25 % gesenkt werden. Aufgrund dieser erheblichen Vorteile wird die neue Lösung aller Voraussicht nach nicht nur in der ursprünglich vorgesehenen HS-Anwendung, sondern auch in MS-Verteilungssystemen eingesetzt werden.

Parallel zu den Anpassungstransformatoren wurde eine alternative High-End-Lösung entwickelt. Das Konzept basiert auf einem aktiven Stromwandler und zeichnet sich durch ein noch besseres Verhalten im Niederfrequenzbereich und einen höheren Dynamikbereich bei noch geringerem Gewicht des Transformators (27 % der aktuellen Lösung) aus. Da jedoch zusätzliche Elektronik benötigt wird, sind die Kosten mit der bestehenden Lösung vergleichbar. Das Prinzip wird zurzeit für spezielle NS-Anwendungen weiterentwickelt, bei denen die Kosten niedriger ausfallen können.

05

Neben den beschriebenen AC-Anwendungen entwickelt ABB auch DC-Sensoren. Ein Beispiel hierfür ist die DC-Version des NS-Leistungsschalters Emax 2 →3. Hier sollen Nebenwiderstände durch Gruppen von Magnetfeld-Sensorelementen ersetzt werden, um sowohl die hohen Kosten als auch die Leistungsverluste zu beseitigen, die untrennbar mit Hochstrom-Widerständen verbunden sind. Der Fokus dieses Projekts liegt auf einer hohen Genauigkeit und Stabilität sowie der Reduktion von Übersprechen, was in einer mehrphasigen Anwendung sehr wichtig ist.

—

Ein weiteres Tätigkeitsfeld ist die DC-Messung in Schnellladestationen für Elektrofahrzeuge.

Ein weiteres Tätigkeitsfeld ist die DC-Messung in Schnellladestationen für Elektrofahrzeuge →2. Durch Messung der elektrischen Leistung auf der Ausgangsseite (DC-Seite) des Stromrichters mit einem genauen, für die Hutschienenmontage geeigneten Zähler lässt sich die zur Batterie übertragene Gesamtenergie viel genauer bestimmten als am Stromrichtereingang, wo Stromrichter- und Kabelverluste das Ergebnis beeinträchtigen können. Geeignete Zähler für diese Anwendung sind noch nicht auf dem Markt erhältlich.

Kooperation

Für die erfolgreiche Entwicklung einer Technologie, die am Ende in einem Produkt implementiert werden soll, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschern, Lieferanten und der akademischen Welt von entscheidender Bedeutung. Beispielsweise können sich neue Designideen auf die Produktionsprozesse von Lieferanten – z. B. Hersteller von Spulen oder Dickschicht-Widerständen – auswirken, was eine enge Zusammenarbeit erforderlich macht.

Hochschulen können starke Partner sein, wenn es um die Evaluierung und Entwicklung neuer Technologien geht. Auf dem Gebiet der elektrischen Sensorik hat ABB eine erfolgreiche strategische Kooperation mit der Polytechnischen Universität Mailand (POLIMI) aufgebaut. Schwerpunkte der POLIMI sind dabei die Evaluierung spezieller Designs für Nebenwiderstände, die Entwicklung magnetischer Sensorgruppen für die Strommessung und die

06a

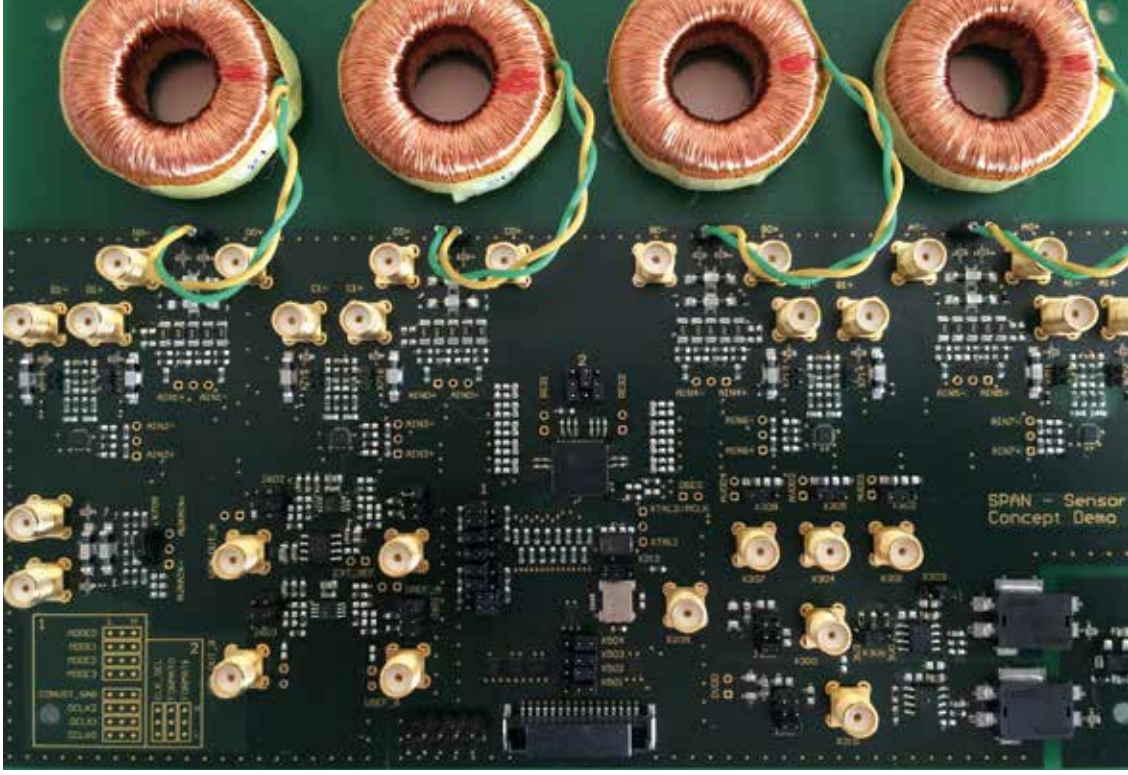
06b

—
06 Spannungssensor auf der Basis eines ohmschen Spannungsteilers.

06a MS-Stützisolator mit integriertem ohmschem Spannungsteiler.

06b Die neue Spannungsteiler-Technologie (links) im Vergleich zur alten (rechts).

—
07 Leiterplatte (Demonstrator) mit vier neuen Anpassungstransformatoren.



07

—
Literaturhinweise

[1] R. Disselnkötter, A. Hozoi: „Current Sensors for Industry and Power Distribution“. ABB Research Center Germany, Annual Report 2008.

[2] S. Wildermuth et al.: „Condition monitoring of synchronous motors based on measurement of circulating stator currents“. Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation Conference (ETFA), Barcelona, Spanien, 2014.

[3] K. Bohnert et al.: „Strom messen mit Licht“. ABB Review 1/2014, S. 13–17.

[4] T. Bödrich et al.: „Transient Finite Element Analysis of a SPICEcoupled Transformer with COMSOL Multiphysics“. COMSOL Conference, Paris, 2010.

Analyse von Transformatoren und induktiven Komponenten für die Sensorik und andere Anwendungen.

Bei letzteren spielen die magnetischen Eigenschaften von weichmagnetischen Werkstoffen eine wichtige Rolle, da sie sich auf den Dynamikbereich, die Amplituden- und Phasengenauigkeit, den Versatz und die Bandbreite von Sensoren auswirken.

—

Eines der Ziele war die genaue Modellierung des transienten Verhaltens magnetischer Komponenten in elektrischen Schaltungen.

Geometrische Parameter können sich ebenfalls auf diese Merkmale auswirken und Eigenschaften wie Übersprechen und DC-Toleranz beeinflussen. In einigen Anwendungen kann auch das transiente Verhalten einer magnetischen Komponente von Bedeutung sein – insbesondere, wenn diese in eine elektrische Schaltung integriert ist.

Eines der Ziele bestand daher darin, das transiente Verhalten von magnetischen Komponenten in elektrischen Schaltungen genau zu modellieren. Bei komplexeren Geometrien geschieht dies für gewöhnlich mithilfe von Finite-Elemente-Methoden (FEM) [4]. Transiente FEM-Simulationen erfordern jedoch lange Simulationszeiten, wohingegen die Simulationszeiten bei einer Verwendung in Designwerkzeugen kurz sein sollten. Daher hat ABB den neuen Ansatz auf Geräte mit geringer geometrischer Komplexität beschränkt, die mit parametrisierten analytischen Modellen beschrieben werden können. Diese berücksichtigen magnetische Eigenschaften wie Anisotropie, statische und dynamische Hysterese ebenso wie geometrische Hauptelemente wie Eisenkernsegmente, Luftspalte, Spulen und Streuflusspfade. Die Modelle basieren auf elementaren Bausteinen, die verschiedene Arten von magnetischen Komponenten beschreiben. Es ist vorgesehen, Bibliotheken mit kalibrierten Modellen von Magnetwerkstoffen und Komponenten einzurichten, die zur Modellierung, Analyse und Optimierung magnetischer Geräte in verschiedenen ABB-Entwicklungsprojekten genutzt werden können. Die Arbeiten hierzu laufen.

Breites Interesse

Wie eine ABB-interne Studie kürzlich bestätigt hat, herrscht in vielen Anwendungen ein großer Bedarf an elektrischen Sensoren. Obwohl es bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte auf dem Markt gibt, machen Kostendruck und spezielle technische Anforderungen häufig maßgeschneiderte Lösungen und innovative Sensorkonzepte erforderlich. Die Nachfrage nach Neuentwicklungen besteht in allen Spannungsbereichen und in verschiedenen Anwendungen wie Überstromschutz und Lichtbogenerkennung, Abrechnungsmessung, Steuerung und Regelung, Zustands- und Lastüberwachung. Zusätzlich angetrieben wird die Nachfrage durch die zunehmende Integration erneuerbarer Energien, neue Methoden der Netzführung sowie eine verstärkte Gebäudeautomatisierung und Digitalisierung. Die Entwicklung und das Design neuer Sensoren werden unterstützt durch verbesserte Simulationsmethoden und die Verfügbarkeit neuer Werkstoffe, Technologien und Produkte. ●

Energie

ABB gehörte zu den führenden Kräften der elektrischen Revolution im 20. Jahrhundert. Heute befasst sich das Unternehmen mit der Entwicklung innovativer Lösungen für die elektrische Energieerzeugung und -verteilung, die dabei helfen, den wachsenden Energiebedarf des 21. Jahrhunderts zu decken und die Nutzung erneuerbarer Energien zu unterstützen.

64 Mehr Kapazität durch den Umbau von Drehstrom auf HGÜ
70 Definition von Kurzschlusswerten für Leistungsschalter

70

ENERGIE

Mehr Kapazität durch den Umbau von Drehstrom auf HGÜ

Der steigende Energiebedarf und die Integration erneuerbarer Energien sorgen zunehmend für Engpässe in Drehstrom-Übertragungsleitungen. Ein physischer Ausbau der Übertragungskapazität ist weder einfach noch kostengünstig. Durch den Umbau vorhandener Drehstromleitungen auf Gleichstrom kann die Übertragungsfähigkeit erhöht werden, ohne dass neue Trassen gebaut werden müssen.

Peter Lundberg
Bjorn Jacobson
ABB Power Grids,
Grid Integration
Ludvika, Schweden

peter.lundberg@
se.abb.com
bjorn.jacobson@
se.abb.com

Vinothkumar K
Gaurav-Kumar Kasal
ABB GISPL
Chennai, Indien

vinothkumar.k@
in.abb.com
gaurav-kumar.kasal@
in.abb.com

Shanthakumar MS
ABB India Ltd.
Gurgaon, Indien

shanthakumar.MS@
in.abb.com

Abhay Kumar
ABB AB
Ludvika, Schweden

abhay.kumar@
se.abb.com

Überall auf der Welt und insbesondere in Entwicklungsländern steigt der Bedarf an elektrischer Energie. Dies sorgt nicht nur für Bedenken hinsichtlich des Klimawandels, sondern auch für einen rasanten Anstieg der Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Im Bereich der Stromerzeugung sind Wind und Sonne heute die Energiequellen mit dem schnellsten Wachstum weltweit. Doch die zusätzlich erzeugte elektrische Energie muss zum Verbraucher

Durch die zusätzlich erzeugte Energie stoßen vorhandene Drehstrom-Übertragungsnetze zunehmend an ihre Leistungs-grenzen.

transportiert werden, weshalb vorhandene Drehstrom-Übertragungsnetze zunehmend an ihre Leistungsgrenzen stoßen. Hinzu kommt, dass erneuerbare Energiequellen von Natur aus unbeständig sind, was eine wirtschaftliche Planung der Übertragungskapazität erschwert.

—
01 Die Kapazität von Übertragungsleitungen zu erhöhen, ist nicht so einfach. Der Umbau vorhandener Drehstromleitungen auf Gleichstrom ermöglicht jedoch eine Erhöhung der Kapazität, ohne dass umfangreiche und teure Infrastruktur gebaut oder neue Trassen erschlossen werden müssen. (Foto: Anthony Byatt)

Eine offensichtliche Lösung zur Beseitigung der Übertragungsengpässe ist der Bau zusätzlicher Drehstromleitungen. Doch ganz abgesehen von den hohen Kapitalkosten sind für den Bau neuer Trassen häufig Umweltverträglichkeitsprüfungen

—

Eine Alternative zur Drehstromübertragung ist die HGÜ, die viele Vorteile bietet.

und bautechnische Gutachten sowie eine Vielzahl von Lizenzen, Vereinbarungen, Genehmigungen und Landkäufe erforderlich. Aus diesem Grund halten Übertragungsnetzbetreiber (ÜNBs) nach alternativen Technologien Ausschau, mit denen die Übertragungsleistung verbessert und gleichzeitig die Nutzung vorhandener Trassen maximiert werden kann.

Eine Alternative zu Drehstrom

Eine Alternative zur Drehstromübertragung ist die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ). Die HGÜ bietet viele Vorteile gegenüber der Drehstromübertragung wie die Möglichkeit zur Auslastung der Leitung bis zur thermischen Grenzleistung [1], geringe Verluste, eine hohe Flexibilität und Regelbarkeit (beides hilft, Störungen durch die Anbindung erneuerbarer Energien entgegenzuwirken), weniger hohe Anforderungen bezüglich der Trassenerschließung, usw. Insbesondere die selbstgeführte HGÜ-Technologie auf der Basis von Spannungszwischenkreis-Umrichtern (Voltage Source Converters, VSCs) ist in der Lage, Wirk- und Blindleistung unabhängig voneinander zu regeln, Spannungsstützung für das angeschlossene Drehstromnetz zu bieten und Schwarzstartfähigkeit bereitzustellen.
Um die Herausforderungen und Chancen zu verstehen, die mit dem Umbau einer vorhandenen Drehstrom-Übertragungsinfrastruktur auf HGÜ verbunden sind, sollen im Folgenden einige Fallbeispiele und deren wichtigsten technischen Aspekte betrachtet werden.

01

Umweltaspekte	Technische Aspekte	Wirtschaftliche Aspekte
Der Verschmutzungsgrad am Standort des umzubauenden AC-Systems bestimmt die Kriechweganforderungen für die DC-Isolatoren.	Beim Umbau ist eine einpolige, zweipolige oder hybride HGÜ-Konfiguration möglich.	Trotz der Verluste durch die Konverterstationen sind die Betriebskosten für DC aufgrund der geringen Leitungsverluste und der höheren Übertragungskapazität häufig niedriger.
Die von der umgebauten Leitung verursachten hörbaren Geräusche und Funkstörungen sind abhängig von den Witterungsbedingungen.	Die Wahl der DC-Spannung hängt von den Abständen in den Freileitungsmasten ab. Der Strom, basierend auf den thermischen Grenzen des Leiters, bestimmt die maximale Übertragungskapazität des Umbaus.	Der Kapitalaufwand hängt neben der Übertragungsentfernung hauptsächlich von der Art der AC-Freileitungsmasten, der HGÜ-Konverterstation und der geplanten Konfiguration ab.
Korona- und Feldeffekte hängen von den Strom- und Spannungspegeln sowie der Konfiguration und Positionierung der Leiter ab.	Um die gewünschte DC-Spannung und -Stromstärke zu erreichen, sind Veränderungen am Isolator und möglicherweise am Mast oder Leiter erforderlich.	Die Zeit für den Umbau ist kürzer als die für die Genehmigung und den Bau einer neuen Leitung erforderliche Zeit, auch wenn Masten verändert oder Leiter bzw. Isolatoren ersetzt werden müssen.

02

Bestimmende Faktoren

Vor dem Umbau einer Drehstromleitung auf HGÜ gilt es, eine ganze Reihe von umweltbezogenen, technischen und wirtschaftlichen Faktoren zu berücksichtigen →2.

—

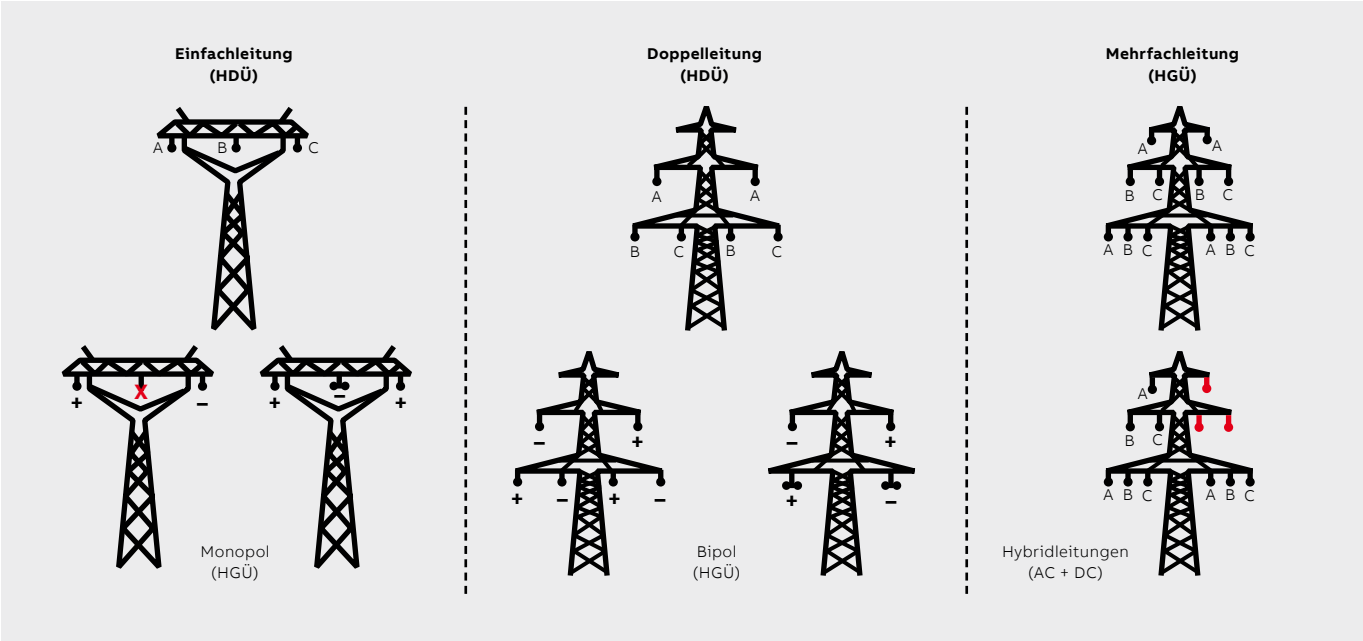
Es sind eventuell Veränderungen an der Mastkonstruktion, den Isolatoren und Leiterseilen erforderlich.

Ist die Entscheidung gefallen, mit dem Umbau fortzufahren, muss die zum Mastbild und den verfügbaren Abständen passende HGÜ-Konfiguration gewählt werden, also symmetrischer/asymmetrischer Monopol, Bipol oder Hybridleitung →3. So kann z. B. eine horizontale Drehstrom-Einfachleitung entweder durch eine oder zwei symmetrische monopolare HGÜ-Leitungen ersetzt werden.

Eine bipolare Konfiguration ist ebenfalls möglich. Bei einer Doppel- oder Mehrfachleitung können ein oder mehrere Drehstromsysteme wie in →3 dargestellt auf HGÜ umgebaut werden. Der Austausch ist jedoch nicht ganz einfach, und es müssen eventuell Veränderungen an der Mastkonstruktion, den Isolatoren und Leiterseilen vorgenommen werden [1]. Die Keramikisolatoren der Drehstromleitung werden grundsätzlich durch Isolatoren aus speziellem hochfestem Glas (High Resistivity Toughened Glass, HRTG) oder Verbundstoff ersetzt, um die Abstandanforderungen zu erfüllen [2].

Bestehende Umbauten

Zurzeit finden verschiedene Umbauten von Drehstrom auf HGÜ zur Erhöhung der Übertragungskapazität vorhandener Trassen statt. Das erste bekannte Beispiel ist das UltraNet-Projekt in Deutschland zum Umbau einer 400-kV-Drehstromleitung. Weitere Leitungen werden ebenfalls im Hinblick auf einen möglichen Umbau untersucht.



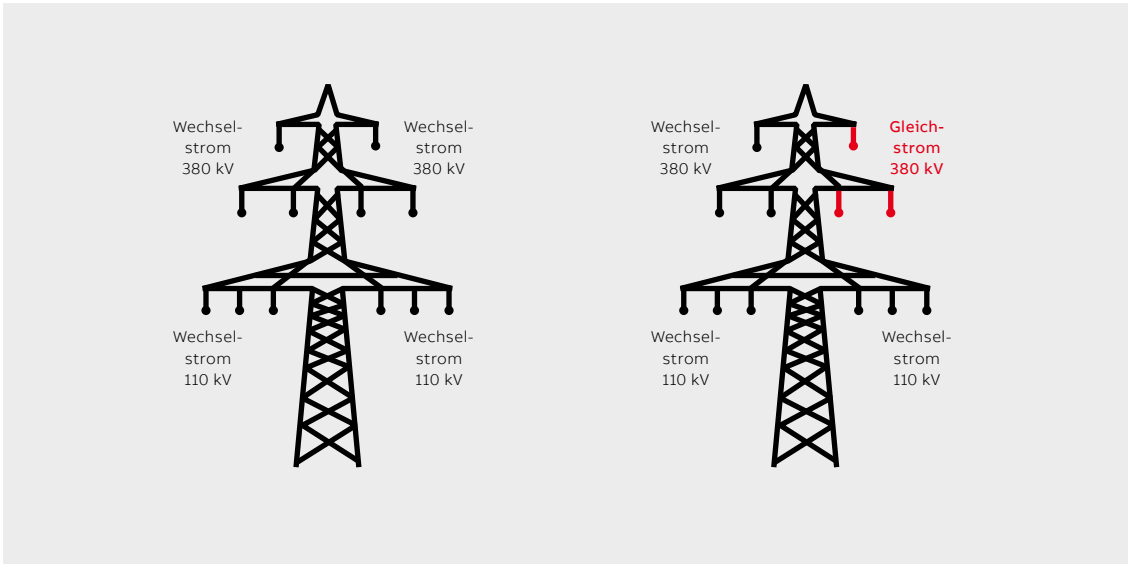
03

—
02 Zu berücksichtigende Aspekte beim Umbau von Drehstrom auf HGÜ.

—
03 Einige mögliche Konfigurationen beim Umbau von Drehstrom auf HGÜ.

—
04 Umbau beim UltraNet-Projekt in Deutschland [3]. © Amprion TransnetBW.

—
05 Übertragungskapazität vorhandener Trassen bei verschiedenen Gleichspannungen und Umgabungstemperaturen [2].

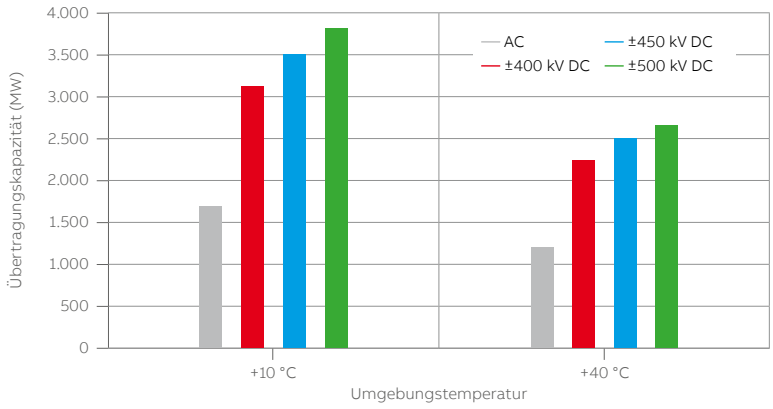


04

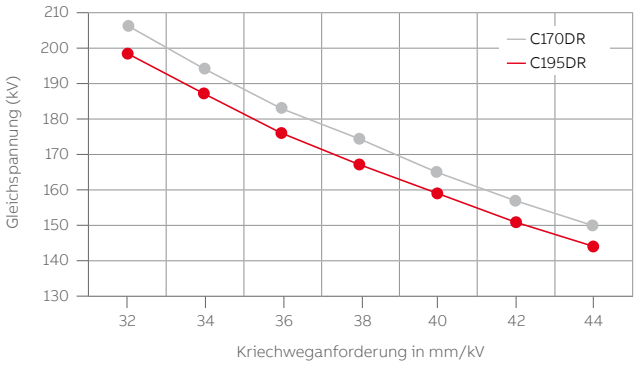
UltraNet ist eine 340 km lange Gleichstromverbindung zwischen Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg, die auf einer bestehenden Trasse mit zwei 380-kV- und zwei 110-kV-Drehstromsystemen realisiert wird [3]. Im Rahmen des Projekts wird eine der beiden 380-kV-Drehstromsysteme auf 380 kV Gleichstrom umgebaut, um mit einer Kapazität von etwa 2.000 MW die Übertragung von Energie von Windparks in der Nordsee zu den Industriestädten im Süden des Landes zu erleichtern →4. Durch den Umbau wird die Leistungsfähigkeit der Verbindung erheblich gesteigert. Die Kapazität kann zwar durch Erhöhung der Gleichspannung gesteigert werden, doch hier ist Vorsicht geboten, da schon vorhandene Leiterseile bei höheren Umgebungstemperaturen stärker durchhängen, wodurch die Einhaltung der Abstände gefährdet ist. So beträgt der zusätzliche Durchhang eines Leiters bei 40 °C gegenüber seiner Kettenlinie bei 0 °C etwa 1,3 m [2] →5.

—

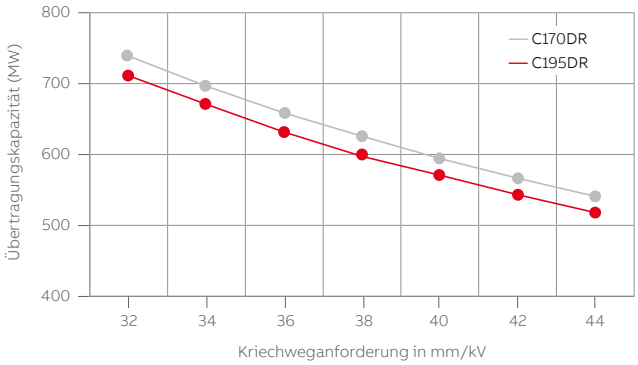
Durch den Umbau der einen Leitung auf 380 kV Gleichstrom wird die Leistungsfähigkeit der Verbindung erheblich gesteigert.



05



06



07

Ein weiteres Beispiel für einen Umbau ist das Projekt Angle-DC [4]. Hier wird eine 33-kV-Drehstromverbindung zwischen Nordwales und der Insel Anglesey in eine symmetrische monopolare 27-kV-HGÜ-Leitung umgebaut, um eine 23%ige Steigerung der Übertragungskapazität bei einer Betriebstemperatur von 50 °C zu erreichen. Durch Erhöhung der zulässigen Betriebstemperatur der Kabel auf 65 °C ist eine Steigerung der Kapazität um 35 % möglich.

Wahl der Gleichspannung

Die Länge der Isolatorketten bestimmt den verfügbaren Abstand, von dem wiederum die maximale Gleichspannung abhängt, die geführt werden kann. Die thermische Belastbarkeit des Leiters bestimmt die Stromtragfähigkeit des Übertragungssystems. Die gewählte Gleichspannung und die thermische Stromtragfähigkeit zusammen bestimmen die maximale Übertragungskapazität der Leitung nach dem Umbau.

Die Erhöhung der zulässigen Betriebstemperatur der Kabel auf 65 °C ermöglicht eine 35%ige Steigerung der Kapazität.

Die Länge der Isolatorketten hängt von den Kriechweganforderungen ab. Die Kriechwege variieren abhängig von den örtlichen Bedingungen wie dem Salzgehalt in der Luft oder dem Grad der Luftverschmutzung. Generell gelten höhere Kriechweganforderungen für die HGÜ als für Drehstrom.

Bei der Umwandlung eines typischen 220-kV-Drehstromübertragungssystems liegt die Gleichspannung – ausgehend von einer unveränderten Kettenlänge von 2.030 mm, um einen entsprechenden Durchhang während des Betriebs zuzulassen – für eine symmetrische monopolare HGÜ-Konfiguration zwischen 145 und 206 kV. Der genaue Wert hängt von den Kriechweganforderungen der jeweiligen Verschmutzungszone ab, in der sich die Leitung befindet. Dies ist in →6 für zwei verschiedene

Mithilfe von Verbundstoff-Isolatoren lässt sich die Übertragungsleistung weiter verbessern, da diese weniger stark durch Verschmutzung beeinflusst werden.

HRTG-Isolatoren von Sediver – C170DR und C195DR – dargestellt. Dementsprechend liegt die Übertragungskapazität einer symmetrischen monopolaren HGÜ-Konfiguration bei einer angenommenen thermischen Stromtragfähigkeit des Leiters von 1.800 A zwischen 520 und 740 MW →7.

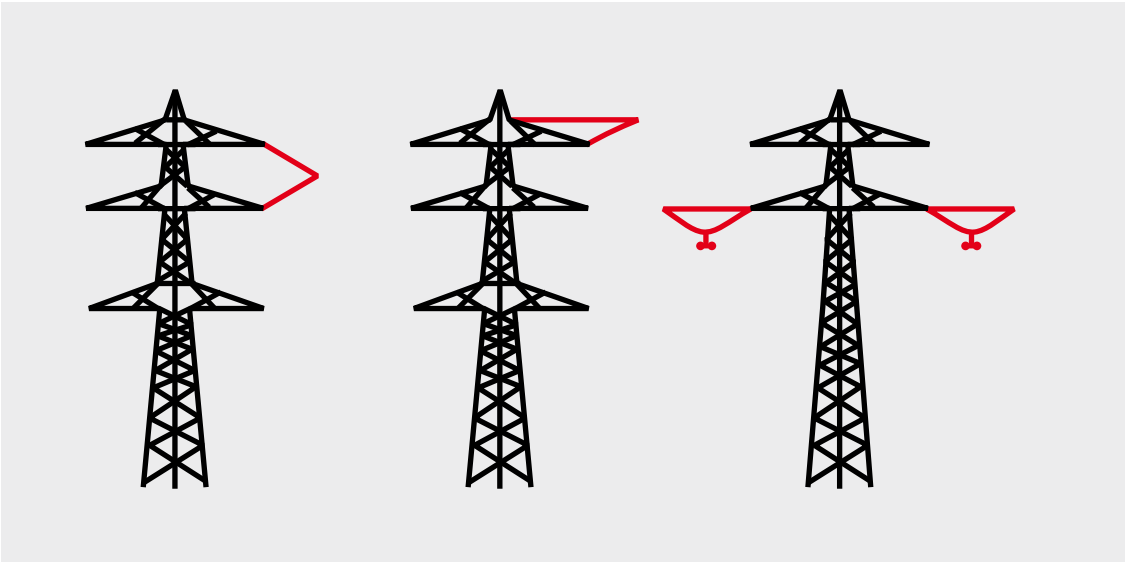
In Zukunft werden weitere Drehstromleitungen umgebaut, um die Übertragung höherer Leistungen auf vorhandenen Trassen zu ermöglichen.

Mithilfe von Isolatoren aus Verbundwerkstoffen lässt sich die Übertragungsleistung weiter verbessern, da diese weniger stark durch Verschmutzung beeinflusst werden und die Nutzung höherer Gleichspannungen zulassen. Durch entsprechende Änderungen an den Masttraversen können die Abstände vergrößert werden, sodass höhere Gleichspannungen möglich sind →8. Die thermische Stromtragfähigkeit und somit die Übertragungskapazität des Leiters lassen sich erhöhen, indem weitere Teilleiter hinzugefügt werden oder der vorhandene Leiter durch einen neuen ersetzt wird.

Blick in die Zukunft

Unter der Voraussetzung, dass bestimmte wirtschaftliche, technische und umweltbezogene Bedingungen erfüllt sind, kann durch den Umbau einer bestehenden Drehstrom-Übertragungsleitung auf HGÜ die Übertragungskapazität einer vorhandenen Trasse erheblich gesteigert werden. Höhere Gleichspannungen ermöglichen höhere Kapazitäten, wobei allerdings der Durchhang der Leiterseile und der Einfluss der Umgebungsverschmutzung auf die Kriechwege berücksichtigt werden müssen. Letzterer ist einer der bestimmenden Faktoren für die maximal zulässige Gleichspannung. Durch Veränderung der Masten oder den Einsatz von Verbundstoff-Isolatoren kann möglicherweise eine noch höhere Gleichspannung gewählt werden. Die thermische Belastbarkeit und somit die Übertragungskapazität der Leiterseile kann durch Hinzufügen weiterer Teilleiter oder durch Ersetzen des Leiters erhöht werden.

Angesichts des steigenden Bedarfs an zusätzlicher Übertragungskapazität ist davon auszugehen, dass in Zukunft weitere Drehstromleitungen auf HGÜ umgebaut werden, um die Möglichkeit zur Übertragung höherer Leistungen zu nutzen, ohne neue Trassen bauen zu müssen. ●



08

06 Möglicher Gleichspannungsbereich für verschiedene Kriechweganforderungen

07 Übertragungskapazität in Abhängigkeit von der Kriechweganforderung

08 Mögliche Veränderungen der Mastkonstruktion zur Erhöhung der Gleichspannung [5].

Literaturhinweise

[1] M. Hausler et al.: „Erhöhte Übertragungsfähigkeit von Freileitungen durch Umbau von Drehstrom auf Gleichstrom“. ABB Technik 3/1997, S. 4–11.

[2] J. Lundkvist et al.: „Feasibility study for converting 380 kV AC lines to hybrid AC/DC lines“. EPRI High-Voltage Direct Current & Flexible AC Transmission Systems Conference. Westminster, USA, Nov. 2009. S. 1–25.

[3] „Projektbeschreibung Ultranet“. Verfügbar unter: https://www.amprion.net/Netzausbau/Aktuelle-Projekte/Ultranet/

[4] J. Lundkvist et al.: „Feasibility study for converting 380 kV AC lines to hybrid AC/DC lines“. Verfügbar unter: https://library.e.abb.com/public/724400579765e22cc1257720004100e5/Convertion%20of%20AC% 20lines%20to%20hybrid% 20AC_DC%20lines_09MP0519.pdf

[5] „Angle-DC: 2015 Electricity Network Innovation Competition“ Verfügbar unter: https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/angle_submission.pdf

[6] M. I. Khan, R. C. Agrawal: „Conversion of AC line into HVDC“. IEEE PES Conference and Exposition. Durban, Südafrika, Juli 2005.

ENERGIE

Definition von Kurzschlusswerten für Leistungsschalter

Leistungsschalter schützen elektrische Anlagen vor Beschädigungen, die durch Kurzschlüsse verursacht werden können. Doch der „Kurzschlussstrom“ kann je nach Anwendung variieren. Wie helfen IEC- und EN-Normen Planern dabei, den Überstromschutz in elektrischen Anlagen richtig zu spezifizieren?

Joachim Becker
ABB Stotz-Kontakt GmbH
Heidelberg, Deutschland

joachim.becker@
de.abb.com

Die ständige Verfügbarkeit elektrischer Energie ist für eine moderne Gesellschaft unerlässlich. Ohne Strom wären die meisten Wohnhäuser, Betriebe und Industrieanlagen lahmgelegt. Diese elektrische Energie muss dem Verbraucher sicher und zuverlässig bereitgestellt werden,

> Schaltanlagen müssen den fehlerhaften Stromkreis abschalten und gleichzeitig den Weiterbetrieb der nicht betroffenen Stromkreise gewährleisten.

wobei Schaltanlagen eine wesentliche Rolle spielen. Aufgrund der offensichtlichen Gefahren, die damit verbunden sind, müssen solche Schaltanlagen bzw. lokale Installationsverteiler so ausgelegt sein, dass sie die Installation durch Abschalten des fehlerhaften Stromkreises schützen und gleichzeitig den Weiterbetrieb der nicht betroffenen Stromkreise gewährleisten.

—
01 Zum Schutz elektrischer Anlagen gegen Kurzschlussströme kommt eine Vielzahl von Leistungsschaltern zum Einsatz. Das umfangreiche Schalterangebot von ABB deckt praktisch alle Spannungs- und Stromwerte ab. Das Bild zeigt einen Hauptsicherungsautomaten vom Typ ABB S753DR-E63.

01

Schalterarten
Ein Kurzschluss setzt Geräte einer großen Belastung aus. Daher müssen bei der Auslegung der Schaltgerätekombination bzw. des Installationsverteilers die thermischen und dynamischen Belastungen berücksichtigt werden, die der maximale Kurzschlussstrom am Anschlusspunkt vor Ort verursacht. Um Schäden an der Installation (oder Personen) zu verhindern, werden Kurzschluss-Schutzeinrichtungen eingesetzt, die den Kurzschlussstrom am Anschlusspunkt abschalten →1.

—

Bei der Auslegung müssen die thermischen und dynamischen Belastungen berücksichtigt werden, die der maximale Kurzschlussstrom am Anschlusspunkt vor Ort verursacht.

Am häufigsten werden für diese Schaltaufgabe Kompaktleistungsschalter (MCCBs) →2, Leitungsschutzschalter (MCBs), Fehlerstrom-Schutzschalter (RCCBs) und Fehlerstrom-Schutzschalter mit Überstrom-Schutzeinrichtung (RCBOs) verwendet. Diese Geräte sind mit ihrem maximalen Kurzschlussschaltvermögen gekennzeichnet, um Schaltschrankbauern die Wahl des richtigen Produkts für die jeweilige Anwendung zu ermöglichen. Solche Schalter eignen sich zur Trennung, wobei für häufig auch Lasttrennschalter installiert werden, damit die Anlage zu Wartungs- und Instandsetzungszwecken vollständig spannungsfrei geschaltet werden kann.

Der Dauer-Kurzschlussstrom
Niederspannungsanlagen werden typischerweise von Transformatoren gespeist. In einem solchen Niederspannungsnetz errechnet sich der Dauer-Kurzschlussstrom (I_k) aus der Bemessungsspannung und dem Wechselstromwiderstand (Impedanz) des Kurzschlusses. Eine überlagerte Gleichstromkomponente, die langsam auf null abklingt, ist ebenfalls vorhanden →3. Der Spitzenwert von I_k ist ein wichtiger Wert für die Kurzschlussdefinitionen in den Normen.

Normen für Leistungsschalter
Je nach Anwendung können bei der Spezifikation von Leistungsschaltern oder entsprechender Ausrüstung für den Netzschutz verschiedene Normen herangezogen werden:

- Die IEC/EN60898-1 gilt für Leitungsschutzschalter für den Überstromschutz in Haushalten und ähnlichen Installationen wie z. B. Läden, Büros, Schulen und kleine Gewerbegebäude. Diese Schalter sind wartungsfrei und so konzipiert, dass sie von nicht unterwiesenen Personen bedient werden können.
- Die IEC/EN60947-2 gilt für Leistungsschalter, die vorwiegend in industriellen Anwendungen eingesetzt werden, zu denen nur unterwiesene Zugang haben.
- Trennschalter werden gemäß der Norm IEC/EN60947-3 geprüft.
- Schaltgerätekombinationen oder Installationsverteiler werden gemäß der Norm IEC/EN61439 geprüft.

Aufgrund des unterschiedlichen Umfangs der Normen werden in einigen Fällen verschiedene Definitionen für den gleichen elektrischen Vorgang verwendet. Daher muss der Planer dafür sorgen, dass er genau weiß, welche Definition – z. B. für das Kurzschlussschaltvermögen – für das Design, an dem er gerade arbeitet, gültig ist.

Leitungsschutzschalter und die IEC/EN60898-1
Die IEC/EN60898-1 definiert das Bemessungsschaltvermögen (I_{cn}) als Ausschaltvermögen gemäß einer vorgegebenen Prüffolge. Nicht eingeschlossen ist dabei die Fähigkeit des Schalters, 85 % des Nichtauslösestroms für eine festgelegte Zeit (konventionelle Zeit) zu führen. Das Betriebsschaltvermögen (I_{cs}) ist das Ausschaltvermögen gemäß einer vorgegebenen Prüffolge, die die Fähigkeit des Schalters einschließt, 85 % des Nichtauslösestroms für eine festgelegte Zeit zu führen.

02

Die IEC/EN60898-1 definiert feste Werte für das Verhältnis zwischen I_{cs} und I_{cn}. Die Werte für I_{cs} und I_{cn} sind als Effektivwerte der prospektiven (unbeeinflussten) Kurzschlussströme angegeben. Um die Anforderungen der Norm für beide Schaltvermögen zu erfüllen, muss das Ein- und Ausschalten von drei Leitungsschutzschaltern geprüft werden. Beim Einschalten wird der Kurzschlussstrom bei einem bestimmten Phasenwinkel in Bezug auf die Spannungswelle initiiert. Die drei Schalter werden bei verschiedenen Winkeln geprüft. Die Prüffolge für I_{cn} ist „O - t - CO“, wobei „O“ für eine Ausschaltung (open) und „CO“ für eine Einschaltung gefolgt von einer Ausschaltung (close-open) steht, d. h. der geprüfte Schalter wird eingeschaltet und für eine bestimmte Zeitspanne mit dem Kurzschlussstrom beaufschlagt. Die Zeit „t“ (time) zwischen den Schaltungen beträgt 3 min. Für I_{cs} lautet die Schaltfolge „O - t - O - t - CO“ für ein- und zweipolige und „O - t - CO - t - CO“ für drei- und vierpolige Schalter. Entsprechend der Initiierung des Kurzschlussstroms laut Norm muss mindestens einer der geprüften Schalter beim härtesten Spannungsphasenwinkel abschalten.

Leistungsschalter und die IEC/EN60947-2

Die IEC/EN60947-2 definiert das Bemessungs-Grenzkurzschlussausschaltvermögen (I_{cu}) anhand einer bestimmten Prüffolge, die den Nachweis der Überlastauslösung des Schalters beinhaltet. In der IEC/EN60947-2 ist I_{cs} das Ausschaltvermögen gemäß einer festgelegten Prüffolge, die den Nachweis der Funktionsfähigkeit des Schalters beim Bemessungsstrom, eine Erwärmungsprüfung und den Nachweis der Überlastauslösung beinhaltet. Für das Verhältnis zwischen I_{cs} und I_{cn} definiert die IEC/EN60947-2 Werte zwischen 25 und 100%. Auch hier sind die Werte für I_{cs} und I_{cn} als Effektivwerte der prospektiven Kurzschlussströme angegeben. Um die Anforderungen der Norm für beide Schaltvermögen zu erfüllen, müssen zwei

—

Mindestens einer der geprüften Schalter muss beim härtesten Spannungsphasenwinkel abschalten.

Leistungsschalter geprüft werden. Ähnlich wie bei der IEC/EN60898-1 wird der Kurzschlussstrom beim Einschalten bei einem bestimmten Phasenwinkel in Bezug auf die Spannungswelle initiiert. Allerdings erfolgt die Prüfung beider Schalter beim gleichen Winkel. Die Prüffolgen lauten „O - t - CO“ für I_{cu} und „O - t - CO - t - CO“ für I_{cs}. Die Zeit „t“ zwischen den Schaltungen beträgt ebenfalls 3 min. Der Spannungsphasenwinkel, bei dem der Kurzschlussstrom beim Einschalten initiiert wird, entspricht dem Winkel, bei dem der Spitzenstrom erreicht wird. Dieser Spitzenstrom entspricht gleichzeitig dem Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen (I_{cm}) und ist gleich dem Bemessungs-Grenzkurzschlussausschalt-vermögen multipliziert mit einem in der IEC/EN60947-2 definierten Faktor.

Lasttrennschalter und die IEC/EN60947-3

Werden Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter oder Schalter-Sicherungs-Einheiten in ein System eingebaut, kommt die IEC/EN60947-3 zur Anwendung. Ein Lasttrennschalter ist in der Lage, einen Strom unter bestimmten Bedingungen ein- und auszuschalten. In offener Stellung erfüllt der Lasttrennschalter eine isolierende Funktion. Da ein Lasttrennschalter nicht mit einem Überstromauslöser ausgestattet ist, muss er durch einen Leitungsschutzschalter, Kompaktleistungsschalter oder eine

—
02 Niederspannungs-Kompaktleistungsschalter ABB SACE FORMULA A1 (entspricht den Anforderungen der IEC/EN60947-2).

—
03 Verlauf des Kurzschlussstroms.

Sicherung geschützt werden. Das Kurzschlussschaltvermögen der Kombination aus Lastschalter und Leistungsschalter ist definiert als der bedingte Bemessungs-Kurzschlussstrom und entspricht dem Wert des prospektiven Kurzschlussstroms, dem der durch eine Kurzschluss-Schutzeinrichtung (SCPD) geschützte Lasttrennschalter standhalten kann. Dabei ist zu beachten, dass der Lasttrennschalter in der Lage sein muss, dem durch die Kurzschluss-Schutzeinrichtung begrenzten Strom standzuhalten.

—

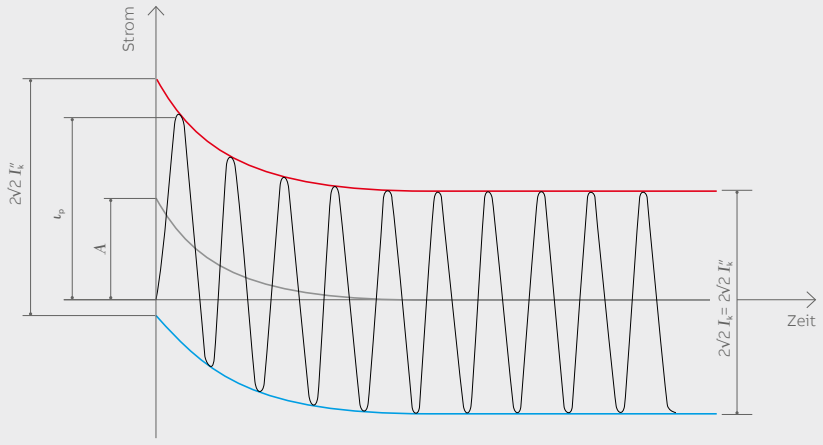
Der Lasttrennschalter muss in der Lage sein, dem durch die Kurzschluss-Schutzeinrichtung begrenzten Strom standzuhalten.

Gleiches gilt auch für Fehlerstrom-Schutzschalter, d. h. der auf dem Gerät angegebene Kurzschlussstrom ist der bedingte Bemessungs-Kurzschlussstrom der Kombination aus Fehlerstrom-Schutzschalter und einer Kurzschluss-Schutzeinrichtung.

Ein weiterer Kurzschlusswert, der in der IEC/EN60947-3 und der IEC/EN60947-2 definiert wird, ist die Bemessungs-Kurzzeitstromfestigkeit (I_{cw}). Dieser Wert gilt für Lastschalter (z. B. Lasttrennschalter), Leistungsschalter wie Kompaktleistungsschalter oder offene Leistungsschalter (ACBs) sowie für Sammelschienen. I_{cw} ist der Stromwert, dem das Gerät für eine bestimmte Zeitspanne standhalten kann, ohne beschädigt zu werden. Die IEC/EN60947-2 definiert bevorzugte Werte für diese Zeitspanne von 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 und 1 s; die IEC/EN60947-3 definiert 1 s. Bei Wechselstrom entspricht I_{cw} dem Effektivwert des Stroms.

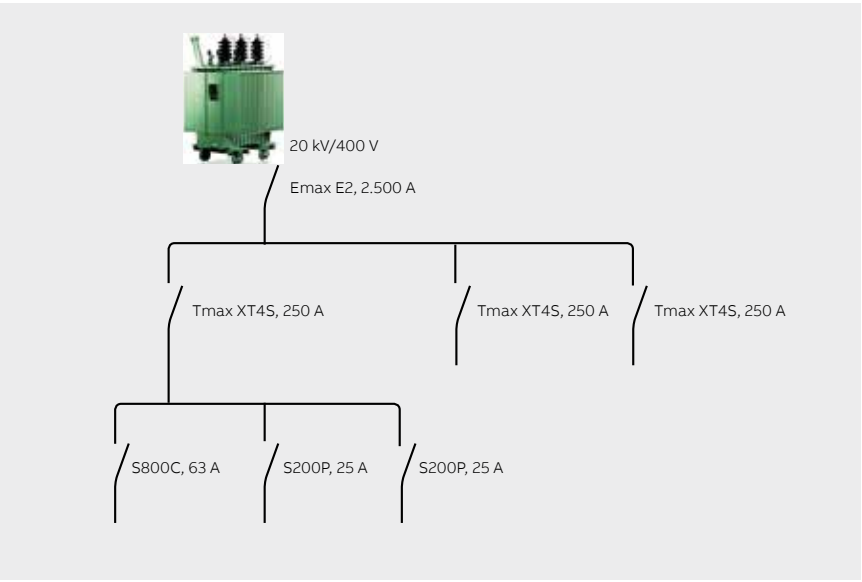
Der Wert I_{cw} ist wichtig für Schaltanlagen mit in Reihe geschalteten Komponenten, bei denen die Selektivität zwischen den Schutzeinrichtungen durch eine Zeitverzögerung realisiert ist. Wenn z. B. der Stromkreis eines Abzweigs mit einem offenen Leistungsschalter ausgestattet ist und die nachgeschalteten Abgangsstromkreise durch Kompaktleistungsschalter geschützt sind, wird eine Selektivität erreicht, indem eine verzögerte Auslösung des offenen Leistungsschalters eingerichtet wird. Die Installation zwischen dem offenen Leistungsschalter und dem Kompaktleistungsschalter muss dem angegebenen Kurzschlussstrom für die Dauer der Verzögerung des offenen Leistungsschalters standhalten.

03



I''_k Anfangs-Kurzschlusswechselstrom
i_p Stoßkurzschlussstrom
I_k Dauerkurzschlussstrom
i_{DC} Abklingende Gleichstromkomponente des Kurzschlussstroms
A Anfangswert der Gleichstromkomponente

— Obere Hüllkurve
— Abklingende Gleichstromkomponente
— Untere Hüllkurve



04

Niederspannungs-Schaltgeräte und die IEC/EN61439-1
Die IEC/EN61439-1 gilt für Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen. Bei Schaltgerätekombinationen mit in der Einspeisung eingebauter Kurzschluss-Schutzeinrichtung muss der Hersteller den höchstzulässigen unbeeinflussten Kurzschlussstrom an den Einspeiseanschlüssen der Schaltgerätekombination angeben. Um die Schaltgerätekombination zu schützen, muss der I_{cu}- bzw. I_{cn}-Wert der Kurzschluss-Schutzeinrichtung

—

Die IEC/EN61439-1 gilt für Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen.

gleich oder höher sein als der unbeeinflusste Kurzschlussstrom. Wird ein Leistungsschalter mit verzögertem Auslöser als Kurzschluss-Schutzeinrichtung verwendet oder ist keine Kurzschluss-Schutzeinrichtung in die Schaltgerätekombination eingebaut, muss der I_{cw}-Wert mit der größten Verzögerungszeit angegeben werden.

Anwendungsbeispiel: Kupferfabrik
Angenommen, eine Kupferfabrik wird über einen 20-kV/400-V-Verteiltransformator vom 20-kV-Mittelspannungsnetz gespeist. Die Bemessungsleistung des Transformators S_r beträgt 1.600 kVA, und die relative Kurzschlussspannung u_{kr} ist 6 %.

Bei Verteiltransformatoren mit Bemessungsleistungen bis 3.150 kVA kann die Netzimpedanz normalerweise vernachlässigt werden. Die Kurzschlussimpedanz des Transformators begrenzt den Kurzschlussstrom entsprechend folgender Gleichung:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{kr}} = \frac{1{,}600\ kVA}{\sqrt{3} \times 400\ V \times 0{,}06} = 38{,}5\ kA$$

→4 zeigt das Schaltbild der Stromversorgung.

An der Einspeisung kommt ein Leistungsschalter vom Typ ABB Emax E2 mit einem Bemessungsstrom von 2.500 A zum Einsatz. Die Verteilungsebene ist durch einen Leistungsschalter vom Typ ABB Tmax XT4S geschützt. Die Endstromkreise sind mit Leitungsschutzschaltern vom Typ ABB S800C und S200P ausgestattet.

Um die richtige Kaskadierung zu gewährleisten, wird folgende Rechnung durchgeführt: Der I_{cw}-Wert des Emax E2 (Version B) beträgt 42 kA. Die Verzögerung ist auf 0,1 s festgelegt. Folglich ist der Emax in der Lage, dem Kurzschlussstrom standzuhalten. Auf der Verteilungsebene beträgt der I_{cu}-Wert des Tmax XT4S 50 kA. Das Kabel zwischen dem Tmax und der Sammelschiene für die Unterverteilung hat einen Querschnitt von 95 mm² und eine Länge von 15 m. Der Widerstand des Kabels beträgt laut technischen Handbüchern 0,246 Ω/km.

Der Widerstand des Transformators beträgt 0,00597 Ω. Der Kurzschlussstrom an der Unterspannungsseite ist somit:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r \times Z_i)} = \frac{400\ V}{\sqrt{3} \times (0{,}00597 + 0{,}00369)\ \Omega} = 23{,}9\ kA$$

Durch die Verwendung der Leitungsschutzschalter S800C und S200P ist kein Backup-Schutz erforderlich, da das Grenzkurzschlussausschaltvermögen der Geräte 25 kA beträgt. Eine vollständige Selektivität zwischen dem Tmax XT4S und dem S800C bzw. S200P ist gegeben.

Anwendungsbeispiel: Stromverteilung in einem großen Bürogebäude
Wird ein Bürogebäude vom 20-kV-Mittelspannungsnetz über einen 20-kV/400-V-Transformator mit einer S_r von 630 kVA und einer u_{kr} von 4 % gespeist, begrenzt auch hier die Kurzschlussimpedanz des Transformators den Kurzschlussstrom entsprechend der Gleichung:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{kr}} = \frac{630\ kVA}{\sqrt{3} \times 400\ V \times 0{,}04} = 22{,}7\ kA$$

→5 zeigt das Schaltbild der Stromversorgung.

— 04 Beispielkonfiguration von Schutzgeräten für eine Kupferfabrik.

— 05 Beispiel eines Schutzschemas für ein großes Bürogebäude.

Der I_{cu}-Wert des Leistungsschalters vom Typ Tmax XT4 (Version N) beträgt 36 kA, der I_{cu}-Wert des selektiven Haupt-Leitungsschutzschalters vom Typ ABB S750DR 25 kA. Folglich sind der Tmax und der S750DR in der Lage, den Kurzschlussstrom abzuschalten. Das Kabel zwischen dem S750DR und dem Unterverteilungsnetz hat einen Querschnitt von 16 mm² und eine Länge von 10 m. Der Widerstand des Kabels beträgt laut technischen Handbüchern 1,32 Ω/km. Der Widerstand des Transformators beträgt 0,01012 Ω.

Der Kurzschlussstrom auf der Unterspannungsebene ist somit:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r \times Z_i)} = \frac{400\ V}{\sqrt{3} \times (0{,}01012 + 0{,}0132)\ \Omega} = 9{,}9\ kA$$

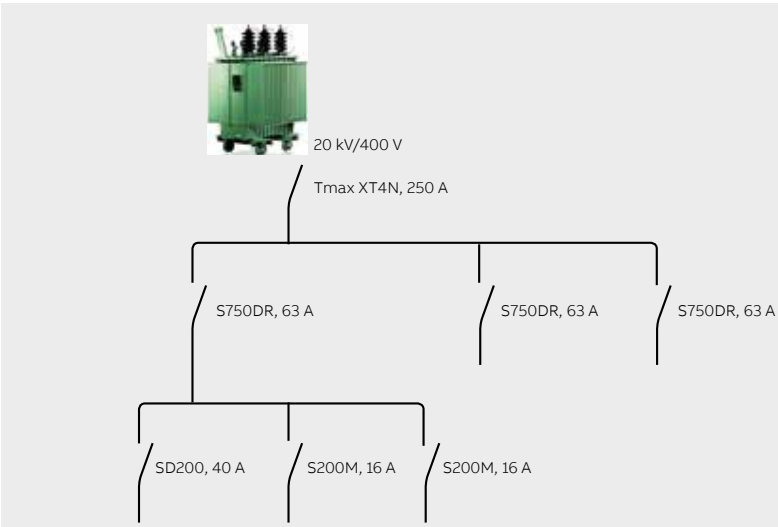
Durch die Verwendung eines Leitungsschutzschalters vom Typ S200M ist kein Backup-Schutz erforderlich, da das Grenzkurzschlussausschaltvermögen 15 kA beträgt. Eine vollständige Selektivität zwischen dem S750DR und S200M ist gegeben.

Für den in →5, dargestellten Lasttrennschalter vom Typ SD200 ist der bedingte Bemessungs-Kurzschlussstrom wichtig. Der Wert für die Kombination SD200/S750DR beträgt 10 kA.

Folglich wird der SD200 vom S750DR geschützt, da der maximale Kurzschlussstrom an diesem Punkt 9,9 kA beträgt.

Die richtige Konfiguration von Schutzeinrichtungen ermöglicht einen sicheren und zuverlässigen Betrieb unter Kurzschlussbedingungen.

Die oben beschriebenen Beispiele zeigen, dass bei der richtigen Konfiguration von Schutzeinrichtungen ein sicherer und zuverlässiger Betrieb von Schaltanlagen unter Kurzschlussbedingungen möglich ist. Die verschiedenen erwähnten IEC/EN-Normen helfen Planern dabei, die richtigen Bemessungsdaten für die eingesetzten Produkte zu wählen, und sorgen somit dafür, dass die betreffende Anwendung auch im Fehlerfall mit elektrischer Energie versorgt wird. ●



05

BUZZWORDS ENTSCHLÜSSELT

Text Mining

Informationen liegen häufig unstrukturiert und unzugänglich in unterschiedlichen Dokumentformaten vor. Durch Data Mining kann dieser wertvolle Datenschatz erschlossen werden, um nützliches Geschäftswissen daraus zu gewinnen.

01

Raoul Jetley
ABB Corporate Research
Bangalore, Indien

raoul.jetley@in.abb.com

Laut Schätzungen sind bis zu 80 % aller Informationen in Unternehmen in einem unstrukturierten Textformat gespeichert. Dazu gehören Kundenanforderungen, Verkaufsdossiers, technische Spezifikationen, Wartungsberichte und Rückmeldungen von beteiligten Akteuren. Da sich mit traditionellen Datenanalysemethoden nur schwer unternehmensrelevantes Wissen aus solch unterschiedlichen Daten extrahieren lässt, kommt stattdessen textbasiertes Data Mining oder Text Mining zum Einsatz →1.

Einfach ausgedrückt umfasst Text Mining die Prozesse, die erforderlich sind, um unstrukturierte Textdokumente bzw. -ressourcen in aussagekräftige, strukturierte Informationen umzuwandeln. Die strukturierten Informationen können dann genutzt werden, um automatisch verborgene Muster zu erkennen und mithilfe einer Kombination aus statistischen, linguistischen und Mustererkennungsverfahren Vorhersagen zu treffen.

Text Mining ist ein interdisziplinäres Gebiet, das auf Methoden der Informationsrückgewinnung, des Data Minings, des maschinellen Lernens, der Statistik und der Computerlinguistik zurückgreift. Diese werden genutzt, um Wissen – Fakten, Geschäftsregeln und Beziehungen – zu erkennen und darzustellen, das ansonsten für die automatische Verarbeitung unzugänglich in Texten verborgen ist.

02

—
01 In Unternehmensdokumentationen können sich große Mengen wertvoller Daten verbergen. Data Mining bringt diese ans Licht.

—
02 Data Mining kann wichtige Erkenntnisse für den Vertrieb und das Marketing, die betriebliche Entscheidungsfindung, Investitions- oder Beschaffungsentscheidungen, Kundenbeziehungen usw. liefern.

Ein typischer Text-Mining-Prozess umfasst die folgenden Schritte:

- Identifizierung und Vorverarbeitung des betreffenden Texts. Dazu gehört das Bereinigen des Texts und das Entfernen unnötiger Informationen, das Aufteilen des Texts in kleinere Einheiten, sogenannte Tokens, und das Identifizieren von Wortarten auf Grundlage der Grammatik der verwendeten Sprache.
- Extraktion von relevanten Informationen und Umwandlung in strukturierte Daten. Dazu wird der tokenisierte Text durchsucht, und die Ergebnisse werden auf eine strukturiertere, für weitere Analysen geeignete Weise gespeichert.
- Auswahl wichtiger Merkmale zur Erstellung von Konzept- und Kategoriemodellen. Die Zahl der in unstrukturierten Daten vorhandenen Konzepte ist für gewöhnlich sehr groß. Entscheidend bei diesem Schritt sind die Identifizierung der relevantesten Merkmale und deren Verwendung zur Erstellung aussagekräftiger Modelle auf der Basis von Datenkategorien und Beziehungen.
- Analyse der strukturierten Daten zur Aufdeckung von Beziehungen zwischen den Konzepten. Hier verschmilzt der Prozess des Text Minings mit dem des traditionellen Data Minings. Klassische Data-Mining-Verfahren wie Clustering, Vorhersage und Klassifizierung können auf die strukturierten Daten aus den vorherigen Schritten angewendet werden.

Text Mining umfasst die notwendigen Prozesse, um unstrukturierte Textdaten in aussagekräftige, strukturiere Informationen umzuwandeln.

Zu den gängigen Anwendungen, die aus diesen Analysen resultieren, gehören die Erkennung von Eigennamen, automatische Zusammenfassung, Kategorisierung anhand relevanter Merkmale und die Extraktion von Kundenstimmungen und -meinungen aus einem Text →2. ●

Impressum

Editorial Board

Bazmi Husain
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams
Senior Sustainability Advisor

Christoph Sieder
Head of Corporate Communications

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation Communications

Roland Weiss
R&D Strategy Manager
Group R&D and Technology

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

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

ABB Switzerland Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Dättwil
Schweiz
abb.review@ch.abb.com

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

Wenn Sie an einem kostenlosen Abonnement interessiert sind, wenden Sie sich bitte an die nächste ABB-Vertretung, oder bestellen Sie die Zeitschrift online unter www.abb.com/abbreview

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

Herausgeber und Copyright ©2018 ABB Switzerland Ltd. Baden, Schweiz

Druck
Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn
Österreich

Layout
DAVILLA AG
Zürich, Schweiz

Satz
Konica Minolta Marketing Services
WC1V 7PB London
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

Tablet-Version
Die Produktion der Tablet-Version der ABB Review (für iOS und Android) wird Ende 2018 eingestellt. Lesern der Tablet-Versionen wird empfohlen, stattdessen die PDF- oder Webversionen zu nutzen.

abb.com/abbreview

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.

01|2018
Innovation

Technologie-Beteiligungen

08 Strategische Innovation und Kollaboration
13 Interview mit ABB Technology Ventures
18 Partnerschaft mit Soft Robotics

Innovations-Highlights 2018

24 Kurzartikel Innovationen

Software und Virtualisierung

36 Neue App zur Softwarequalitätsanalyse
40 Dynamischer QR-Code beschleunigt Service
46 Blockchain – Grundlagen und Potenzial

Energiewende

54 33-/66-kV-Transformator für Windturbinen
60 Die Evolution von HVDC Light®

Diagnose und Daten

70 Datenübertragung für Turbolader
72 Was Ströme über Vibrationen verraten

80 Ergebnisse Leserumfrage 2017

Buzzwords entschlüsselt

82 Fabrik 2.0

02|2018
Kompetenz in Design

Kompetenz in Design

08 Komplexität im Griff
16 Simulation von HS-Durchführungen
22 Vibroakustische Analysen für Trafos

Digitale Systeme und Analysen

30 Revolution im Wassersektor
38 Modellbasierte Prozessregelung und Analyse
46 Prüfstand für ABB Ability™-gestützte Maschinen
52 Schnelle, hochauflösende Bahninspektion
58 Digitaler Durchflussmesser-Zwilling

Bewegung

68 Intelligentes Produkt-Transportsystem
74 Individualisierte Massenproduktion
76 Direktantriebe für Gurtbandförderer

Energie

84 Neuer Generatorleistungsschalter
90 Automatischer Netzumschalter TruONE™

Buzzwords entschlüsselt

94 Digitaler Zwilling

03|2018
Algorithmen treffen Werkstoffe

04|2018
Autonome Kollaboration

Algorithmen treffen Werkstoffe

08 Netzstabilität im Bergbau durch FACTS
14 Thermoplastische Isolierung
21 Automatisierung einer Fabrikverteilung

Transformative Trends

28 Trafoinspektion per Roboter
36 HGÜ für Offshore-Wind

Digitalisierung und Analyse

46 Stabile Stromversorgung für die Fertigung
52 Modellierung von Solarwechselrichtern
58 Cybersicherheit im Blick

Buzzwords entschlüsselt

62 Quantensichere Verschlüsselung

Autonome Kollaboration

08 Autonome Systeme
12 Individualisierung der Produktion
20 Integrierte Lösungen für Gebäude
27 Digitale Zwillinge in der Industrie 4.0

Partnerschaften

36 Kooperation mit Hochschulen

Inspektion und Messung

44 Zustandsüberwachung von Förderbandrollen
50 Cloudbasierte Mehrphasenmessung
54 Chancen für elektrische Sensoren

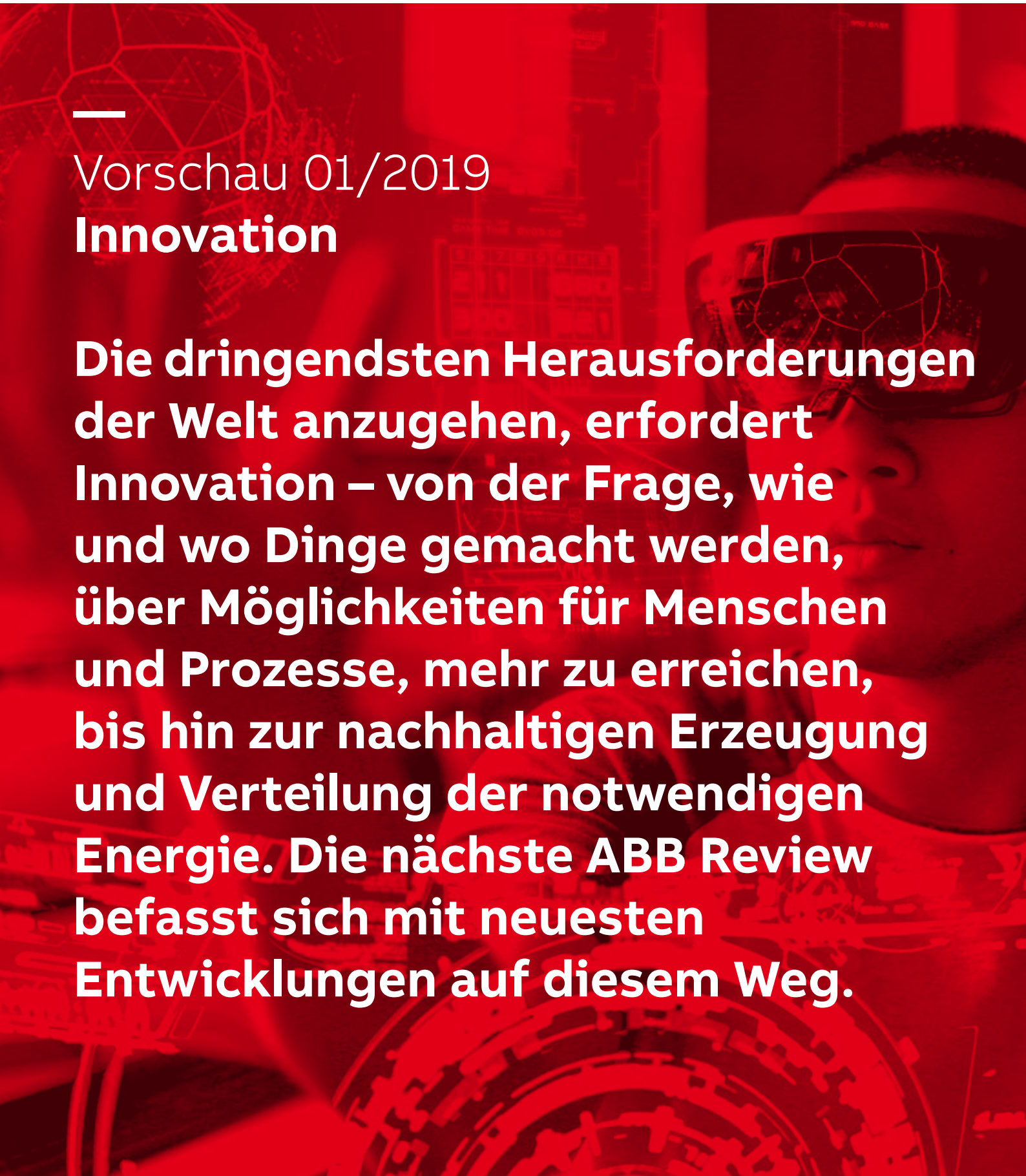
Energie

64 Umbau von Drehstrom auf HGÜ
70 Kurzschlusswerte für Leistungsschalter

Buzzwords entschlüsselt

76 Text Mining

Adressaufkleber hier anbringen



Vorschau 01/2019

Innovation

Die dringendsten Herausforderungen der Welt anzugehen, erfordert Innovation – von der Frage, wie und wo Dinge gemacht werden, über Möglichkeiten für Menschen und Prozesse, mehr zu erreichen, bis hin zur nachhaltigen Erzeugung und Verteilung der notwendigen Energie. Die nächste ABB Review befasst sich mit neuesten Entwicklungen auf diesem Weg.