

# review

EINE DER AM LÄNGSTEN  
ERSCHEINENDEN  
FACHZEITSCHRIFTEN DER WELT

01|2023 de

## Innovation gestern und heute





09

Die Schultern von Riesen



44

Perfekter Kreislauf

BORDLINE® ESS



62

---

04 **Gasteditorial**

05 **Editorial**

---

## 900. Ausgabe

06 **Grußwort des Präsidenten**

07 **Postkarten**

09 **Die Schultern von Riesen**

ABB Review erscheint in der 900. Ausgabe

---

## Beste Innovationen

16 **Ausgewählte Innovationen in Kürze**

---

## Digitalisierung

34 **Weg mit den Kabeln**

5G für die Prozess-  
automatisierung

40 **Sicheres Onboarding**

OPC UA für eine sichere  
industrielle Kommunikation

44 **Perfekter Kreislauf**

Digitalisierung und  
Nachhaltigkeit

50 **Digitale Zukunft**

Umrichter-Steuerungsplattform  
der nächsten Generation




---

## Transport & Effizienz

56 **Eine zirkuläre Zukunft**

Nachhaltigkeit im Leben eines  
Elektromotors

62 **BORDLINE® ESS**

Hochleistungs-Traktionsbatterien für Schienenfahrzeuge

66 **Stützen fürs Netz**

Rotierende Phasenschieber zur  
Netzstabilisierung

72 **Sicher an Bord**

Halbleiterbasierter Schutz für  
DC-Bordnetze

---

## Buzzwords entschlüsselt

80 **OPC UA**

---

81 **Abonnement**

81 **Französische und spanische  
Version**

81 **Impressum**

---



---

### Titelbilder

Das linke Bild zeigt einen Computer vom Typ DP200, der von Brown Boveri für komplexe Aufgaben in der Prozesssteuerung entwickelt wurde. Er konnte 4.096 Wörter (erweiterbar auf 32.768) zu je 20 Bits speichern und verfügte über eine Interrupt-Architektur mit parallelen Ein- und Ausgabekanälen. Im Vordergrund sind das Bedienungspult und der Fernschreiber, im Hintergrund der Schrank mit Zentraleinheit, Kernspeicher und Ein-/Ausgabesystem zu sehen. Der Computer und seine Anwendungen werden in mehreren Artikeln in Heft Nr. 5/6 1965 der Brown Boveri Mitteilungen beschrieben, das über den nachfolgenden QR-Code aufgerufen werden kann.



Das rechte Bild zeigt zum Vergleich eine moderne Leitwarte aus dem Artikel auf Seite 40 dieser Ausgabe der ABB Review.

GASTEDITORIAL

# Dem Wissen verpflichtet



„Kreativität ist das Kombinieren von Fakten, die noch niemand zuvor miteinander kombiniert hat.“

**Christiane Nüsslein-Volhard**  
Nobelpreis in Physiologie  
oder Medizin 1995

Während Nobel Prize Outreach im Rahmen verschiedener Initiativen mit Nobelpreisträgern zusammenarbeitet, die an der vordersten Front der Grundlagenforschung stehen, ist ABB am anderen Ende des Spektrums aktiv und verbindet dieses Wissen mit angewandter Forschung.

Als Nobel International Partner engagiert sich ABB für Innovation, Bildung und Wissenschaft und unterstützt die weltweiten Programme von Nobel Prize Outreach mit dem Ziel, Millionen von Studenten, Entscheidungsträgern und Interessierten rund um die Welt die Ideen des Nobelpreises näherzubringen. Als Erfinder, Unternehmer, Wissenschaftler und Industrieller war Alfred Nobel entschlossen, Innovation „zum Nutzen der Menschheit“ zu fördern. Der Mensch ist fähig zur Innovation, weil er in der Lage ist, von anderen zu lernen. So können wir vorhandenes Wissen nutzen und mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen kombinieren, um etwas Neues zu erschaffen. Die 900. Ausgabe der ABB Review bestätigt – ebenso wie unsere Partnerschaft – einmal mehr die Bedeutung kreativer Köpfe für eine nachhaltigere und ressourcenschonendere Welt.

Laura Sprechmann,  
CEO, Nobel Prize Outreach

EDITORIAL

# Innovation gestern und heute



Liebe Leserin, lieber Leser,

ich freue mich, Ihnen die 900. Ausgabe unseres Magazins präsentieren zu können. Als eine der am längsten publizierten technischen Unternehmenszeitschriften der Welt verkörpert die ABB Review einen Innovationsgeist, der von jeher zentraler Bestandteil unseres Unternehmens ist.

Unsere Leidenschaft für die Forschung hat ABB als bedeutenden Partner der weltweiten Industrie und von Organisationen wie dem Nobelpreiskomitee etabliert, die sich der Förderung der Innovation verschrieben haben.

Da wir auch den 140. Gründungstag von ASEA, einem der Hauptpfeiler in der Geschichte von ABB, feiern, stehen wir, wie wir sagen, „auf den Schultern von Riesen“. Die in dieser Ausgabe vorgestellten Innovationen – Ladetechnik für elektrische Bergbaufahrzeuge, eine neue Steuerungsplattform für Frequenzumrichter, kollaborative Lösungen für die Schifffahrt und vieles mehr – gehören zu den neuesten Beispielen für unser Bestreben, etwas möglich zu machen, was vorher nicht möglich war.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

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

Björn Rosengren  
Chief Executive Officer, ABB Group

---

GRUSSWORT DES PRÄSIDENTEN

# Ein bedeutender Meilenstein



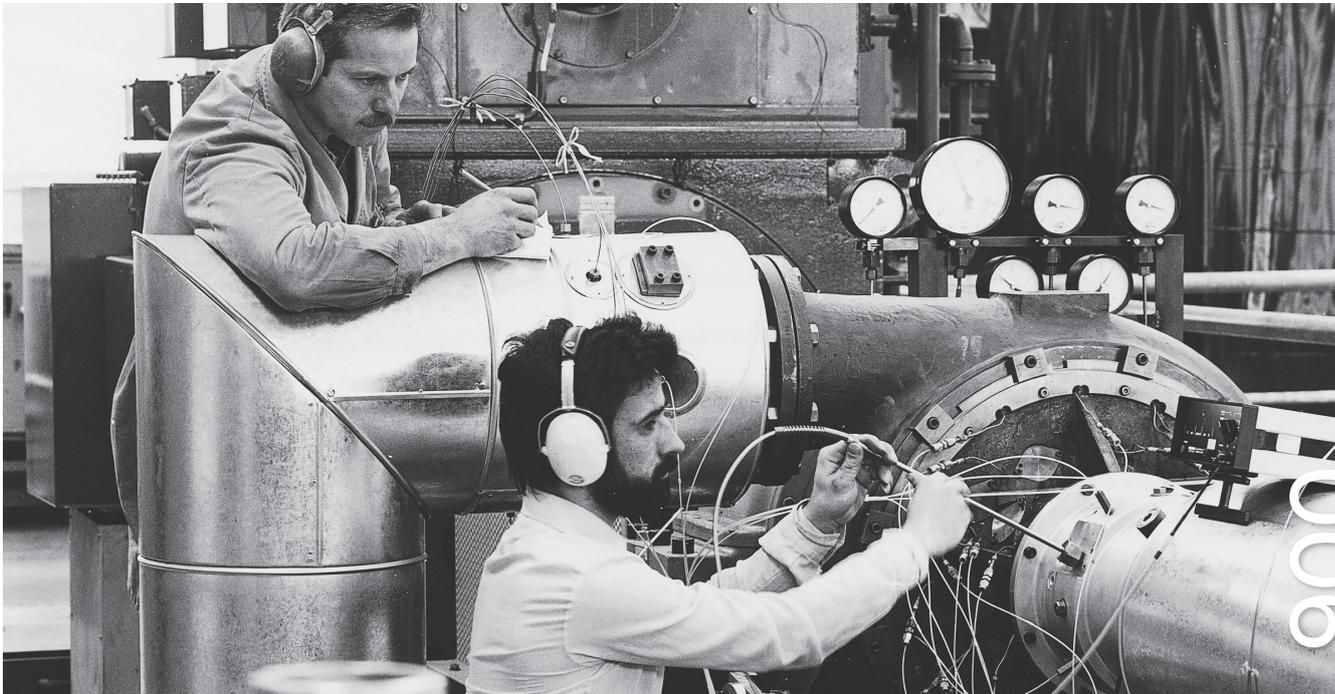
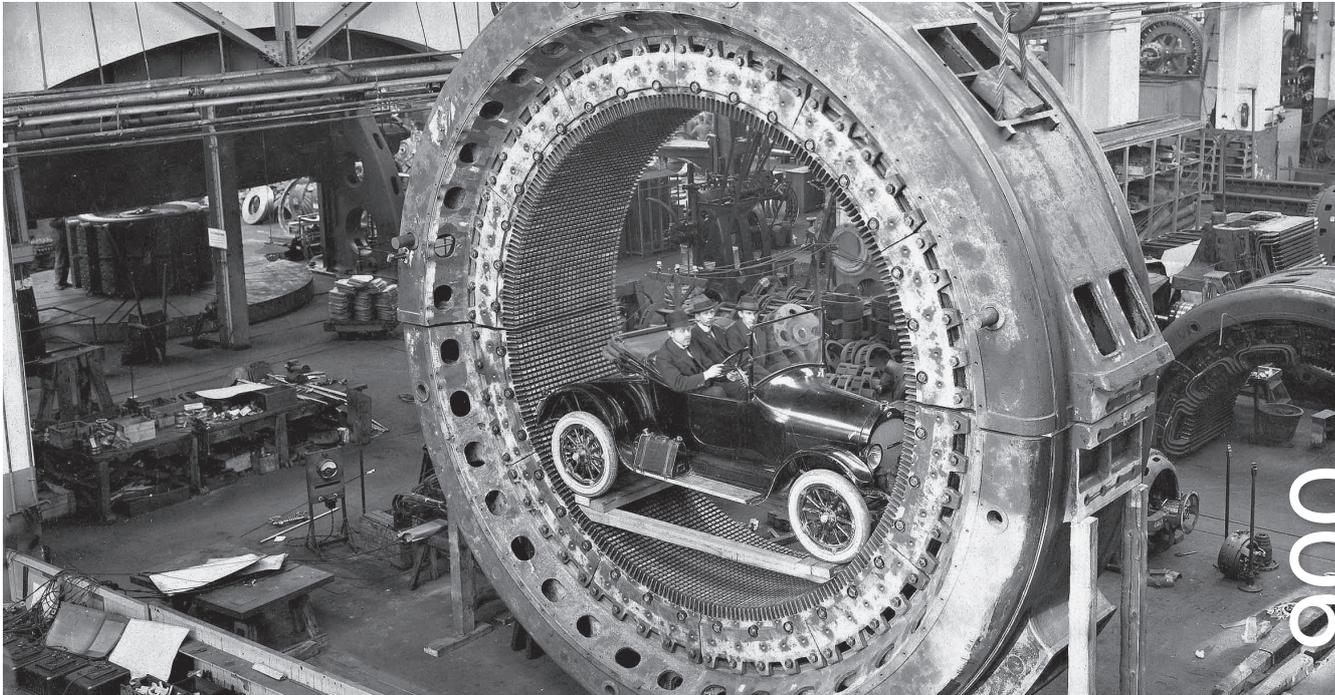
**Peter Voser**

Verwaltungsratspräsident  
ABB Ltd.

Als Verwaltungsratspräsident von ABB freue ich mich, die 900. Ausgabe der ABB Review in den Händen zu halten. Die Zeitschrift steht beispielhaft für die kundenorientierte Innovation und das Engagement unseres Unternehmens, die Grenzen der Technologie im Sinne einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Zukunft zu verschieben. Ich gratuliere der ABB Review und danke allen, die im Laufe der Jahre zu diesem bedeutenden Meilenstein beigetragen haben. Ich bin gespannt, was als Nächstes kommt!

---

Diese drei Postkarten können Sie nutzen, um Mitteilungen oder Grüße zu verschicken. Wir hoffen, Sie finden Gefallen an diesem kleinen Blick in die Vergangenheit.



Ausgabe der ABB Review

900

Ausgabe der ABB Review

900

Ausgabe der ABB Review

900



ABB Review, die technische Zeitschrift des ABB-Konzerns, erscheint durchgängig seit 1914. Zu Feier der 900. Ausgabe sehen wir hier den Stator eines 22-MVA-Generators, der 1919 von ASEA nach Glomfjord, Norwegen, geliefert wurde (Foto: ABB Review 03/2016).

Hier  
Marke  
aufkleben



Die ABB Review wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und der Zielsetzung von ABB interessiert sind. Sichern Sie sich Ihr Abonnement unter [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)

---

---

---



ABB Review, die technische Zeitschrift des ABB-Konzerns, erscheint durchgängig seit 1914. Zur Feier der 900. Ausgabe sehen wir hier eine Lokomotive für die Drehstrom-Elektrifizierung des Simplotunnels zwischen der Schweiz und Italien im Bahnhof Brig im Jahr 1914 (Foto: Historisches Archiv ABB Schweiz, N.1.1.271450).

Hier  
Marke  
aufkleben



Die ABB Review wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und der Zielsetzung von ABB interessiert sind. Sichern Sie sich Ihr Abonnement unter [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)

---

---

---



ABB Review, die technische Zeitschrift des ABB-Konzerns, erscheint durchgängig seit 1914. Zur Feier der 900. Ausgabe sehen wir hier einen Prüfstand für einen Turbolader in den 1970er Jahren (Foto: Industriegewelt – Historische Werkfotos der BBC 1890–1980, Norbert Lang und Tobias Wildi. Schwabe Verlagsgruppe AG, 2006).

Hier  
Marke  
aufkleben



Die ABB Review wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und der Zielsetzung von ABB interessiert sind. Sichern Sie sich Ihr Abonnement unter [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)

---

---

---



ABB REVIEW ERSCHEINT IN DER 900. AUSGABE

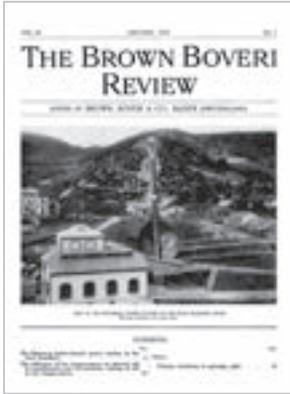
# Die Schultern von Riesen



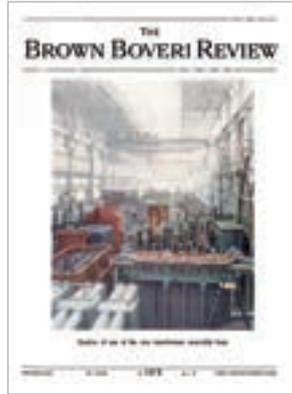
**Andreas Moglestue**  
ABB Review  
Zürich, Schweiz

andreas.moglestue@  
ch.abb.com

Die ABB Review ist eine der ältesten Unternehmenszeitschriften der Welt und mit ihrer ersten Veröffentlichung im Jahr 1914 sogar neun Jahre älter als das Time Magazine. Anlässlich der 900. Ausgabe werfen wir einen Blick auf ihre bemerkenswerte Geschichte.



1/1922 (erste Ausgabe auf Englisch)



1/1951 (erste Titelseite in Farbe)



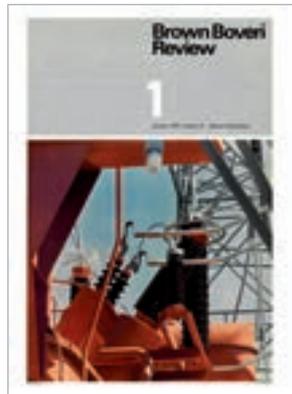
12/1954



1-2/1959



6-7/1966



1/1970



1/1985



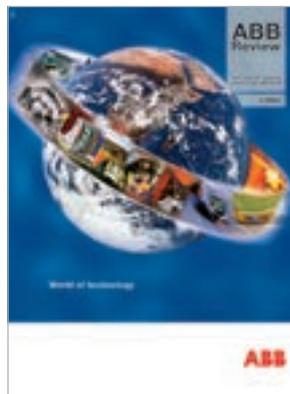
1/1988 (erste Ausgabe nach der Fusion)



1/1994



1/2000



1/2004



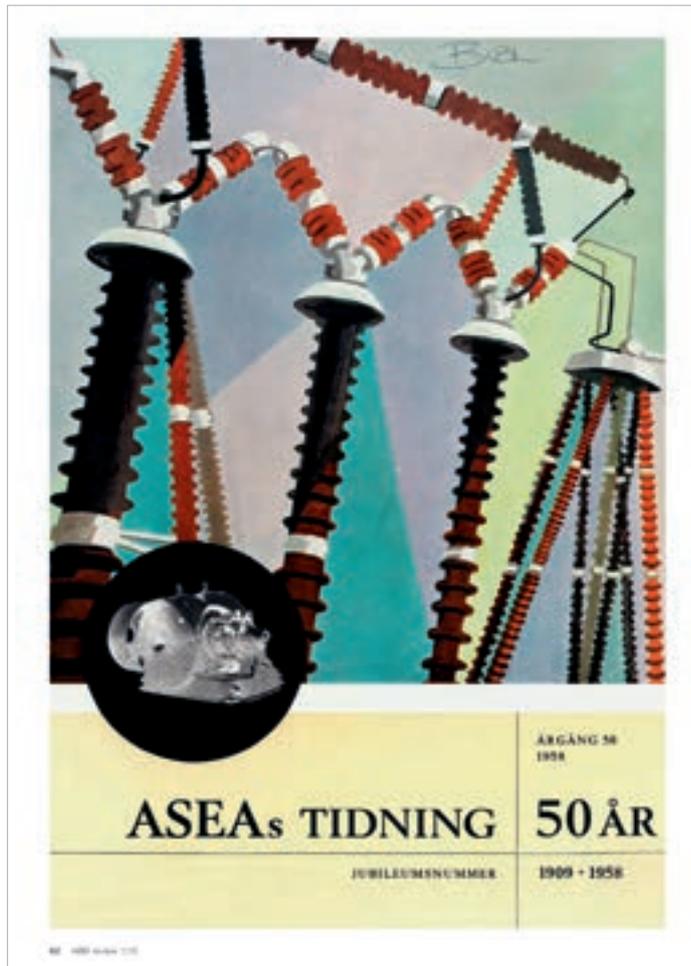
1/2005



1/2010



1/2017



02

— 01 Das Design und das Layout der ABB Review wurden regelmäßig aktualisiert. Wir sehen hier eine Übersicht über die jeweils erste Ausgabe in einem neuen Design.

— 02 Die ASEA Review erschien erstmalig 1924 und wurde 1988 mit der Brown Boveri Review zusammengeführt. Sie war jedoch nicht die einzige Publikation von ASEA. Zuvor gab es die ASEA Egen Tidning (später umbenannt in ASEA Tidning), die 1909 erstmals erschien und eine Mischung aus technischen und allgemeineren Artikeln enthielt. Zu sehen ist hier die Ausgabe zum 50. Jubiläum.

In der Vergangenheit waren ABB und ihre Vorgängerunternehmen an vielen bahnbrechenden Entwicklungen – auch federführend – beteiligt, die weit über das Kerngeschäft des Unternehmens hinausgingen. Dieser Pioniergeist spiegelt sich in einer

## Die ABB Review wird „von Ingenieuren für Ingenieure“ geschrieben.

ganzen Reihe von Errungenschaften wider, die von der Herstellung der ersten synthetischen Diamanten [1] über bedeutende Entwicklungen in der mobilen Kommunikation [2] bis hin zur Weiterentwicklung der Flüssigkristallanzeige [3] reichen.

Trotz dieser besonderen Belege für das breit gefächerte Know-how und den Forschergeist des Unternehmens befassen sich die meisten Artikel in der ABB Review mit Themen aus Forschung und Technik, die näher an den Kerninteressen des Unternehmens liegen. So dokumentiert die Zeitschrift, wie aufeinander folgende Innovationen und Errungenschaften die Technologien

und Produkte im Laufe der Jahre verändert und geformt haben. Die Archive der ABB Review bieten einen einzigartigen Blick auf diese Entwicklungen. Um deren Bedeutung zu unterstreichen und für alle Interessierten zugänglich zu machen, wurden die meisten früheren Ausgaben der Zeitschrift gescannt und stehen online in einem durchsuchbaren Format zur Verfügung ([abb.com/abbreview](http://abb.com/abbreview)). Noch fehlende Ausgaben sollen in Kürze ergänzt werden.

### 109 Jahre durchgängig erschienen

Die ABB Review wurde im Jahr 1914 vom ABB-Vorgängerunternehmen Brown, Boveri & Cie. (BBC) ins Leben gerufen und erschien zunächst als „BBC Mitteilungen“ auf Deutsch und als „Revue BBC“ auf Französisch. Im Jahr 1922 kam Englisch als dritte Sprache unter dem Titel „The Brown Boveri Review“ hinzu, der später in „Brown Boveri Review“ geändert wurde →01.

Die ganz frühen Ausgaben wurden vorwiegend an Handelsvertreter rund um den Globus verteilt, um sie über neue Produkte und laufende Entwicklungen zu informieren. Doch schon in den 1920er Jahren gab es, angetrieben durch das allgemeine Interesse am technischen Fortschritt, eine beträchtliche externe Leserschaft.



**1. AUSGABE 1/1914**

Brown Boveri auf der Schweizerischen Landesausstellung Bern, Mai–Oktober 1914

Verwendung von Einanker-  
Umformern in Gleichstrom-  
Dreileiter-Netzen

Neue Propagandaschriften

Die wichtigste Zeitschriften-  
Literatur im ersten Quartal 1914

(Diese Ausgabe erschien nur auf  
Deutsch und Französisch.)



**100. AUSGABE 2/1923**

Die Turbokompressoren und ihre  
Anwendungsgebiete

Eine Parallelschalteneinrichtung zu  
Vorführungszwecken

Elektrifikationsversuche der italienischen  
Staatsbahnen mit normal-  
frequentem Drehstrom

Die automatische Unterstation  
Diegten (bei Basel)

Temperaturmessungen an elektrischen  
Maschinen und Apparaten

Niederspannungs-Automat für kleine  
Akkumulator-Triebwagen



**200. AUSGABE 6/1931**

Dreiphasen-Wechselstrom-  
Kommutatormotoren für  
Leistungen bis 16,5 kW

Eine fahrbare Gleichrichter-  
Unterstation für die Italienischen  
Staatsbahnen

Schleuderversuche am Polrad  
des ersten Großgenerators  
der Kraftwerkanlage  
Ryburg–Schwörstadt

Motorgeneratoren für die  
Algerischen Staatsbahnen

Kühlerbatterien für  
Großtransformatoren



**300. AUSGABE 1/1942**

Energie-Erzeugung

Energie-Transport, -Verteilung  
und -Umformung

Unsere Produkte in Industrie,  
Gewerbe und Landwirtschaft

Zugförderung

Hochfrequenz-Technik

Schiffs-Ausrüstungen

Forschungsarbeiten

Zeitgemäße Werkstofffragen



**400. AUSGABE 10/1954**

Das Wasserkraftwerk Salamonde  
in Portugal

Gekapselte Schaltfelder für  
Freiluftaufstellung

Die elektronische Anflugschneisen-  
beleuchtung auf dem Flug-  
platz Schiphol–Amsterdam

Inbetriebnahme weiterer  
Betatronanlagen

Moderne Brown Boveri Druck-  
luftschneisen im finnischen  
Hochspannungsnetz

Brown Boveris Anteil am Bau des  
größten Wasserkraftwerkes der  
Schweiz

Kanadas erste Gasturbine am  
Einbauort eingetroffen



**500. AUSGABE 6–7/1966**

Erweiterung der Fabrikanlagen in  
Birr für die Fabrikation mittelgroßer  
elektrischer Maschinen

Planung der Fabrikationsanlagen der  
zweiten Baustufe in Birr

Planung der Büros für Betrieb und  
Konstruktion

Die bauliche Gestaltung der zweiten  
Baustufe

Die Schalensheds der Fabrikhallen

Maschinenfundamente

Neue Fabrikationsmethoden und  
Anlagen

Karusselldrehbank mit thyristor-  
gesteuertem Antrieb

Raum für Längenmessung

Neues Prüffeld für mittlere  
Elektromaschinen

Neues Akustiklabor für  
Zweckforschung

Personenaufzüge in den  
Bürogebäuden

Wohnbauten in Birr



—  
03 Titelseiten jeder 100. Ausgabe von Ausgabe 1 bis 500. Die QR-Codes führen zum jeweiligen Heft in der ABB-Bibliothek.

Die Artikel passten sich in Umfang und Stil allmählich diesem Interesse an, und Themen aus Forschung und Technik ersetzten zunehmend reine Produktankündigungen.

Im Jahr 1988 fusionierten ASEA und BBC zu ABB. ASEA besaß mit der ASEA Review eine eigene technische Zeitschrift, die 1924 erstmals erschien [4] →02. Nach der Fusion wurden beide Zeitschriften zur ABB Review zusammengeführt.

Damit ist die ABB Review, die nun in ihrem 110. Jahr durchgängig erscheint, unseres Wissens nach die älteste noch erscheinende Unternehmenszeitschrift der Welt. Es gibt zwar andere Publikationen früheren Datums, doch wie es aussieht, wird davon keine mehr produziert. Selbst wenn man die gesamte Zeitschriften- und Zeitungswelt betrachtet, gehört die ABB Review zwar nicht zu den ältesten Publikationen, übertrifft aber dennoch viele große Namen. So war die ABB Review bereits neun Jahre alt, als das Time Magazine erstmals erschien, und acht Jahre alt, als Reader's Digest herauskam.

Die ABB Review wird „von Ingenieuren für Ingenieure“ geschrieben. Die Autoren sind zum größten Teil Ingenieure und Wissenschaftler, die an vorderster Front der Forschung und Entwicklung tätig sind. Die Leserschaft reicht von Mitarbeitern in Kundenunternehmen über die Presse und Hochschulen bis hin zu technisch interessierten Mitgliedern der breiten Öffentlichkeit. Viele Ingenieure, die bei ABB arbeiten, haben das Unternehmen für sich entdeckt, als sie die Zeitschrift während ihres Studiums gelesen haben. Eine Vielzahl von Artikeln wird in der Fachpresse nachgedruckt und sogar als Unterrichtsmaterial an Hochschulen genutzt.

Um auch in puncto Ästhetik und Typografie auf der Höhe der Zeit zu bleiben, hat die Zeitschrift im Laufe der Jahre verschiedene optische Veränderungen durchlaufen →01. So setzte die ABB Review schon früh auf den Farbdruck. Im Jahr 1951 erschien die erste Titelseite in Farbe, nach und nach folgten die Innenseiten.

Ein Aspekt, der wohl maßgeblich zur Beliebtheit der ABB Review im Laufe ihrer Geschichte beigetragen hat, ist ihr objektiver und informativer Stil und Ton trotz ihres offensichtlich unternehmerischen Zwecks. Für die Zeitschrift standen wissenschaftliche Integrität und die Befriedigung der Wissbegierde ihrer Leserschaft stets vor direkten Marketinginteressen. Die Richtigkeit und der Erfolg dieser Philosophie spiegeln sich im Interesse und im Zuspruch der Leserschaft wider. So spricht es für die Attraktivität der Zeitschrift, dass die häufigste Frage, die dem Redaktionsteam gestellt wird, lautet: „Wann kommt die nächste Ausgabe?“



—  
„Wenn ich weiter sehen konnte, so deshalb, weil ich auf den Schultern von Riesen stand.“

Sir Isaac Newton

Die ABB Review ist im Laufe der Jahre in verschiedenen Sprachen erschienen. So gab es zwischenzeitlich Ausgaben auf Französisch, Spanisch, Russisch und Schwedisch. Heute wird die Zeitschrift auf Englisch, Deutsch und Chinesisch angeboten, wobei die chinesische Ausgabe nur in elektronischer Form, die englische und deutsche Version sowohl in gedruckter als auch in elektronischer Form erhältlich ist.

Auch die Erscheinungsweise hat sich im Laufe der Jahre geändert. In den ersten Jahrzehnten gab es zwölf Hefte im Jahr, später schwankte die Zahl der jährlichen Ausgaben zwischen drei und zwölf. Seit dem Jahr 2000 sind es vier Ausgaben. Bei zwölf Heften im Jahr dauerte es etwas über acht Jahre, bis 100 Ausgaben veröffentlicht waren →03–04. Wie die jüngste Leserumfrage [5] gezeigt hat, ist die große Mehrheit der Leserinnen und Leser mit vier Ausgaben im Jahr zufrieden. Wenn dies so weiter geht, wird die 1.000. Ausgabe also im Jahr 2048 erscheinen.

#### Im Dienste der Forschung

Wissenschaftliche Neugier fußt fast immer auf der harten Arbeit und den Errungenschaften früherer Forscher. Schon Sir Isaac Newton, einer der wohl größten wissenschaftlichen Geister aller Zeiten, sagte bescheiden: „Wenn ich weiter sehen konnte, so deshalb, weil ich auf den Schultern von Riesen stand“<sup>1)</sup>.

#### Fußnote

<sup>1)</sup> Als Newton dies im Jahr 1675 schrieb, zitierte er wahrscheinlich den französischen Philosophen Bernard de Chartres, der laut Johannes von Salisbury bereits 1159 gesagt haben soll: „Wir sind wie Zwerge, die auf den Schultern von Riesen sitzen“. Siehe dazu auch „The meaning and origin of the expression: Standing on the shoulders of giants“. Verfügbar unter: [www.phrases.org.uk/meanings/268025.html](http://www.phrases.org.uk/meanings/268025.html) (abgerufen am 27.10.2022).

—  
04 Titelseiten jeder 100. Ausgabe von Ausgabe 600 bis 900. Die QR-Codes führen zum jeweiligen Heft in der ABB-Bibliothek.

Um uns auf die Schultern von Riesen stellen zu können, müssen wir in der Lage sein, auf das, was sie in eigenen Worten geschrieben haben, zuzugreifen – unabhängig davon, ob sie wissenschaftlich richtig oder falsch lagen, oder ob ihre Beiträge noch gültig oder bereits überholt sind oder widerlegt wurden. Das gilt im Ingenieurwesen und in der angewandten Wissenschaft genauso wie für die rein theoretische Forschung.

Anders als manchmal von der Boulevardpresse kolportiert, geht es in der Wissenschaft nicht darum, Ergebnissen blind zu vertrauen. In der Wissenschaft geht es um logischen Diskurs und objektives Hinterfragen der eigenen Arbeit und der Arbeit anderer. Ein schriftliches und

—  
**Artikel werden regelmäßig in wissenschaftlichen und technischen Publikationen zitiert.**

unveränderliches Zeugnis bisheriger Beiträge schafft den Rahmen für einen solchen Diskurs. Wissenschaftliche Ergebnisse können jederzeit widerlegt werden, und Theorien können in Frage gestellt oder angesichts neuer Ergebnisse und Interpretationen angepasst werden. Doch wenn die Behauptungen und Ergebnisse, auf denen diese Theorien aufbauen, nicht für die Nachwelt festgehalten wurden, sind jegliche Anmerkungen, Beobachtungen oder abgeleitete Forschungen ohne Kontext und in vielen Fällen bedeutungslos.

Die newtonsche Mechanik wurde z. B. schon lange von der einsteinschen Mechanik abgelöst. Doch wie Newton zugab, auf den Schultern seiner Vorgänger gestanden zu haben, stand Einstein unbestreitbar auf Newtons Schultern. Dennoch sind Newtons Theorien heute noch immer relevant und werden verwendet – und ohne sie wären Einsteins Theorien deutlich schwerer zu verstehen.

### **Digital denken**

Die digitale Welt macht es uns leichter denn je, Informationen zu verbreiten und zu finden. Eine Internet-Suchmaschine kann in Bruchteilen von Sekunden Dokumente zutage fördern, für die man früher jahrelang Bibliotheken hätte durchkämmen müssen. Das Internet ist ein beispielloser Treiber für die Demokratisierung des Wissens. Auch die ABB Review, die seit 2001 online zur Verfügung steht, ist heute Teil der digitalen Welt.

Gleichwohl mangelt es Online-Aufzeichnungen häufig an Beständigkeit. Wie viele Weblinks von vor 20 oder nur 10 Jahren funktionieren heute noch? Einige dieser Quellen wurden vielleicht an andere Adressen verschoben und können – mit entsprechender Geduld – durch intensives Suchen gefunden werden. Viele Webseiten gehen aber auch für immer verloren, wenn die dazugehörigen Websites verwaisen oder gelöscht werden.

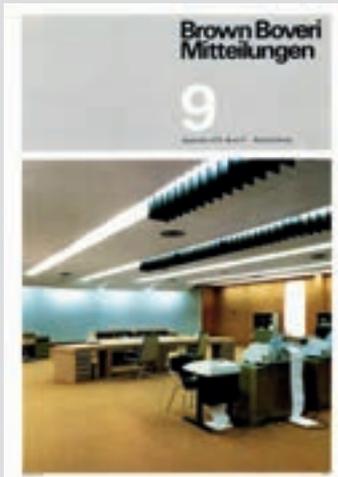
Artikel aus der ABB Review werden regelmäßig in wissenschaftlichen und technischen Publikationen zitiert. Ebenso häufig werden Abbildungen und Diagramme in Büchern und anderen Veröffentlichungen wiederverwendet. ABB kommt solchen Anfragen gern nach, denn sie untermauern den Stellenwert der Zeitschrift.

Um das Zitieren zu erleichtern, ist die PDF-basierte Online-Ausgabe der ABB Review vom Inhalt, von der Paginierung und vom Seitenlayout her identisch mit der Druckausgabe. Das heißt, es muss beim Zitieren nicht zwischen der Druck- und PDF-Version unterschieden werden.

Trotz unseres Bekenntnisses zur Druck- (und PDF-)Ausgabe sind wir bestrebt, die Chancen und Möglichkeiten der digitalen Kommunikation zu nutzen. Die jüngste Leserumfrage [5] hat bestätigt, dass die Leserschaft mit dem Inhalt und der Qualität der Zeitschrift überaus zufrieden ist. Darüber hinaus wünschen sich viele mehr digitale Inhalte. Dies hat uns dazu veranlasst, in den nächsten Ausgaben verschiedene digitale Features und Formate zu testen.

### **Veränderung und Evolution**

Es ist nicht das erste Mal, dass sich die ABB Review verändert und angepasst hat. Im Laufe seiner langen Geschichte hat das Unternehmen viele Veränderungen hinsichtlich seiner Ausrichtung, seines Portfolios und seiner Schwerpunkte durchlaufen. So hat ABB drei der vier industriellen Revolutionen nicht nur durchlebt, sondern auch maßgeblich vorangetrieben – die zweite im Zeichen der Elektrifizierung, die dritte im Zeichen der Digitalisierung, und die zurzeit stattfindende vierte Revolution im Zeichen der Interkonnektivität und künstlichen Intelligenz. Jede Revolution hat die Arbeitsweise der Industrie grundlegend verändert. Die ABB Review hat all diese Veränderungen begleitet und sich mit ihnen weiterentwickelt. Das Team der Zeitschrift freut sich darauf, Forscher, die Industrie und alle technisch interessierten Leserinnen und Leser auch in Zukunft mit interessanten Beiträgen zu unterstützen. •

**600. AUSGABE 9/1976**

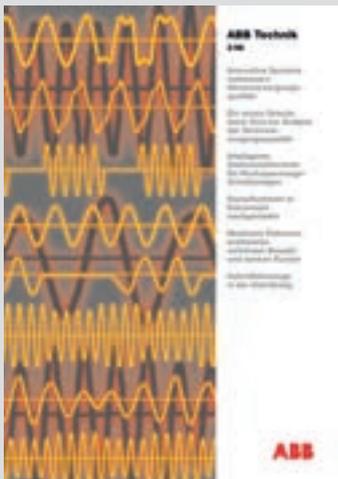
Modulfamilie ED1000 zur Lösung von Aufgaben industrieller Datentechnik  
 Man-Machine-Interface in Warten der Elektrizitätsversorgung  
 Lastverteilung der Elektrizitätsversorgung  
 Automatisierung im Bereich von Unterstationen  
 Fernbedienung des Elektrizitäts-Verteilnetzes von SEAS in Dänemark

Automatisierung der Trinkwasserversorgung der Stadt Zürich

Automatisierung im Braunkohlentagebau  
 Ortsfeste Stelle für Linienzugbeeinflussung  
 Automation auf Hochseeschiffen  
 Mikrorechner steuert Zahnradhobelmaschine  
 Aktivitäten der Konzerngesellschaft Schweiz auf den Gebieten der Elektronik

**700. AUSGABE 7/1986**

Neues Oszilloskop liefert Kurvendokumentation in Sekunden  
 Wie unser Netzleitsystem Energiebezüge optimiert  
 Moderne Planung des Rohrleitungspakets im Kraftwerk  
 Wann erreichen Heizkraftwerke höchste Wirtschaftlichkeit?

**800. AUSGABE 3/1998**

Innovative Systeme verbessern Stromversorgungsqualität  
 Ein neues Simulationstool zur Analyse der Stromversorgungsqualität  
 Intelligente Stationsleittechnik für Hochspannungsschaltanlagen  
 Dampfturbinen in Rekordzeit nachgerüstet  
 Modulare Referenzkraftwerke verkürzen Bauzeit und senken Kosten  
 Hybridfahrzeuge in der Erprobung

**900. AUSGABE 1/2023**

900. Ausgabe  
 Beste Innovationen  
 Digitalisierung  
 Transport und Effizienz

**Literaturhinweise**

[1] A. Johnson: „Die Denkfabrik – Vor 100 Jahren eröffnete das erste ABB-Forschungszentrum“. *ABB Review* 3/2016, S. 13–15.

[2] D. Dzung, A. Moglestue: „Drahtlos, aber verbunden“. *ABB Review* 4/2017, S. 64–65.

[3] A. Moglestue: „Die Armbanduhr-Verbindung – Der Beitrag von BBC zur Flüssigkristallanzeige“. *ABB Review* 2/2014, S. 12.

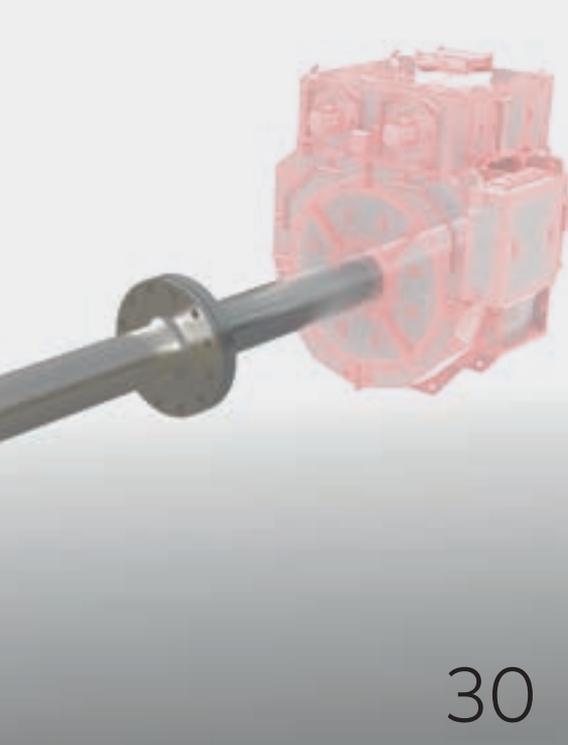
[4] A. Moglestue: „Aus den ASEA-Archiven – Rückblick auf über ein Jahrhundert in gedruckter Form“. *ABB Review* 1/2015, S. 62–66.

[5] A. Moglestue: „Lesertrends – Ergebnisse der Leserumfrage 2022“. *ABB Review* 4/2022, S. 66–67.



# Beste Innovationen





30

Die Chief Technology Officers der vier ABB-Geschäftsbereiche haben einige bedeutende Innovationen aus der Forschung und Entwicklung ausgewählt, die sich in diesem Jahr und in Zukunft besonders auf die Geschäfte unserer Kunden auswirken könnten. Die Lösungen stehen stellvertretend für die einzigartige Fähigkeit von ABB, innovative Ideen und Zweckmäßigkeit miteinander zu verbinden.



23

- 18 Sofortiger Zugriff auf Produktdaten
- 19 Schnelle und präzise Überwachung der Erdgasqualität
- 20 Automatisches E-Ladesystem für Bergbaufahrzeuge
- 21 ABB Ability™ Cyber Security Workplace
- 22 Neue Steuerungsplattform für Frequenzrichter
- 23 Schneller, einfacher und besser mit High Speed Alignment
- 24 Automatische Erstellung kollisionsfreier Programme
- 24 Zwei neue Familien von Großrobotern
- 25 Unterstützung der Schifffahrt mit OVERSEA
- 26 Bessere Serviceentscheidungen für ABB-Messgeräte mit ABB Ability™ Smart Master
- 27 ABB eröffnet F&E-Hub für Servoprodukte in Nanjing
- 28 Modularer Energiespeicher BORDLINE® ESS
- 29 Erforschung von autonomen Lösungen für Schiffe
- 30 Energieeffiziente Permanentmagnet-Technologie für Wellengeneratoren
- 31 Rotierende Phasenschieber zur Netzstabilisierung



---

## SOFORTIGER ZUGRIFF AUF PRODUKTDATEN

In Übereinstimmung mit den Ökodesign-Anforderungen der EU hat ABB eine QR-Code-basierte digitale Plattform eingeführt, die bequemen Zugang zu Informationen über ABB-Produkte bietet.

Dank der neuen Plattform können Techniker, Inbetriebnahmeingenieure, Kunden und Distributionspartner nun durch Scannen des QR-Codes auf dem Gerät z. B. mithilfe eines Mobiltelefons auf vielfältige Informationen zu ABB-Umrichtern, Motoren und SPS zugreifen. Ermöglicht wird dies durch ABB Access, eine responsive Web-Anwendung, die Nutzer mit produktspezifischen Informationen wie Handbüchern, Installationsanleitungen und Schritt-für-Schritt-Anweisungen zur Inbetriebnahme und Fehlerbehebung verbindet. Zudem bietet die Web-Anwendung Nutzern schnellen und einfachen Zugang zu fachkundigem Support durch ABB-Experten und ermöglicht die Meldung und Lösung von Problemen vor Ort.

Das Ergebnis ist eine schnellere Fehlerbehebung, was sich in einer höheren Verfügbarkeit und kürzeren Ausfallzeiten niederschlägt, sowie ein einheitliches Nutzererlebnis über verschiedene ABB-Produkte hinweg. Da die Web-Anwendung darauf ausgelegt ist, Nutzer mit Grundkenntnissen bei der Fehlerbehebung zu unterstützen, steht den Experten mehr

Bandbreite zur Behandlung größerer Probleme zur Verfügung.

Die Architektur von ABB Access basiert auf einer Programmierschnittstelle vom Typ REST-API (Representational State Transfer Application Programming Interface) und Microservice-Konzepten, bei denen Daten mithilfe von Frontend-, Backend- und Service-Schichten kommuniziert werden. Die Plattform nutzt Daten von ABB-zugelassenen Datendienstleistern, speichert aber entsprechend gängiger Datensicherheitsgrundsätze und -richtlinien keine Daten. Stattdessen nutzt ABB Access eine Auto-ID-Weiterleitung, um über die QR-Code-Scanfunktion Inhalte zu verschiedenen Produkten abzurufen.

Zukünftig soll die Web-Anwendung um weitere ABB-Produkte und breiter gefächerte Informationen wie Wartungshistorien zu Produkten, Gewährleistungsinformationen und zusätzliche Informationen für Nutzer mit besonderem Zugang erweitert werden.

ABB Access entspricht der Norm DIN SPEC 91406:2019-12, was OEMs und Endnutzern das Lesen von QR-Codes mithilfe handelsüblicher Hard- und Software erleichtert. •

---

## SCHNELLE UND PRÄZISE ÜBERWACHUNG DER ERDGASQUALITÄT

Erdgasproduzenten und Gasnetzbetreiber sind ständig auf der Hut vor einer übermäßigen Verunreinigung ihrer Gasflüsse durch Wasser (H<sub>2</sub>O), Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), da diese zu einer beschleunigten Alterung der Infrastruktur und sogar zu kritischen Ausfällen führen können. Angesichts dieser Gefahren hat ABB den GLA533-NG Sensi+™ entwickelt. Der Erdgasanalysator basiert auf einer einzigartigen Laser-Absorptionstechnologie namens OA-ICOS (Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy) und ermöglicht die gleichzeitige Überwachung von drei Arten von Verunreinigungen in Erdgas.

Das von ABB patentierte OA-ICOS-Verfahren stellt die neueste Entwicklung auf dem Gebiet der Diodenlaser-Absorptionsspektroskopie dar und zeichnet sich durch eine herausragende Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit aus. Außerdem ist es wesentlich unempfindlicher im Hinblick auf die

Mit seinem maßgeschneiderten, explosionsgeschützten Gehäuse ist der GLA533-NG Sensi+ nicht nur kompakt, sondern lässt sich auch einfach montieren und warten. Die modulare Bauweise des Gasverteilers beseitigt sämtliche interne Verrohrung und ermöglicht den schnellen Austausch kritischer Komponenten ohne spezielle Werkzeuge oder besondere Schulung. Außerdem profitiert das Gerät von einer neuen elektronischen ICOS-Plattform, die ein Höchstmaß an Genauigkeit, Präzision und Stabilität bietet und somit eine ausgezeichnete Messleistung bei geringen Betriebskosten gewährleistet.

Zu den weiteren Vorteilen von Sensi+ gehören modernste Cybersicherheit, eine hervorragende Bedienerschnittstelle, Möglichkeiten zum Datenexport sowie einfache Software-Upgrades. Damit trägt das Gerät zur Verkürzung der Reaktionszeiten und Senkung der Betriebskosten bei. •

---

OA-ICOS ist ideal für anspruchsvollste Anwendungen in entlegenen und/oder explosionsgefährdeten Bereichen.

innere Ausrichtung der Komponenten und gegenüber lokalen Temperatur- und Druckschwankungen als andere Methoden. Damit eignet sich OA-ICOS ideal für den Einsatz in industriellen Messgeräten für anspruchsvollste Anwendungen in entlegenen und/oder explosionsgefährdeten Bereichen.



---

## AUTOMATISCHES E-LADESYSTEM FÜR BERGBAUFahrZEUGE

Bergwerksumgebungen gelten für gewöhnlich als rau und schwierig – Orte, an denen es gilt, die Sicherheit zu maximieren und das Gefährdungspotenzial für den Menschen zu minimieren. Vor diesem Hintergrund hat ABB die Pilotversion eines automatisierten Ladesystems entwickelt, das ohne menschlichen Eingriff für elektrische Muldenkipper aller Fabrikate genutzt werden

---

eMine™ FastCharge eignet sich für elektrische Muldenkipper aller Fabrikate.

kann. Die schnelle, flexible und vollautomatische Lösung bietet die höchste Leistung, die auf dem Markt erhältlich ist, und hilft so dabei, die Stillstandzeiten der mobilen Ausrüstung zu minimieren. Das System mit dem Namen eMine™ FastCharge kann fernüberwacht und ferngesteuert werden, um den Ladevorgang und den Energieverbrauch in Echtzeit zu optimieren. Dies ermöglicht eine Reduktion der betrieblichen Umweltauswirkungen bei einer gleichzeitigen Steigerung der Produktivität.

eMine™ FastCharge basiert auf gängigen und offenen Standards der Automobilindustrie, die interoperabel und herstellerunabhängig sind. Das System erfordert keine komplizierte Installation, was die Infrastrukturkosten senkt und die Investitions- und Betriebskosten optimiert. Tatsächlich können die gesamte Ladestation und ihre Module separat platziert werden, sodass sich die Lösung nahtlos anpassen lässt, wenn sich die Konfiguration und die Anforderungen des Bergwerks verändern.

Im laufenden Betrieb sorgt ein Kamerasystem zur Fahrzeugerkennung für maximale Sicherheit während des gesamten Ladevorgangs. Die modulare Konfiguration von eMine™ FastCharge erleichtert die Anpassung an die betrieblichen und infrastrukturellen Bedürfnisse von Bergwerken und bietet ein hohes Maß an Zukunftssicherheit im Hinblick auf höhere Ladeleistungen.

Dank eines speziellen Gehäuses, das das Eindringen von Staub und Schmutz verhindert, ist die Lösung auch für die rauen Umgebungsbedingungen im Bergbau geeignet. •



## ABB ABILITY™ CYBER SECURITY WORKPLACE

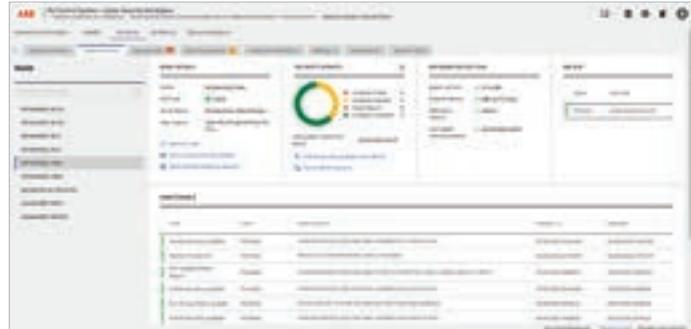
Durch ihre komplexen informations- und betriebstechnischen Infrastrukturen (kurz IT und OT) können Industrieanlagen erhebliche Herausforderungen in puncto Cybersicherheit mit sich bringen.

Normalerweise sind sich Anlagenbetreiber der Gefahr möglicher Cyberangriffe bewusst und implementieren für jedes System in der Anlage eine softwarebasierte Cybersicherheitslösung. Doch da diese Lösungen typischerweise von verschiedenen Anbietern stammen, sind sie nicht leicht zu warten, und schon kleinste Fehler können Cyberangreifern Tür und Tor öffnen.

Benötigt wird also eine Lösung, die dies vereinfacht, indem sie die Möglichkeit bietet, Tools zu konsolidieren, die Erkennung von Risiken zu automatisieren und die Beseitigung von Gefahren zu beschleunigen. Genau so eine Lösung ist der ABB Ability Cyber Security Workplace.

Der ABB Ability Cyber Security Workplace sammelt Daten von ABB- und Drittanbieter-Cybersicherheitslösungen und übergibt diese an eine konsolidierende native Anwendung, die sie auf einer einfachen Benutzeroberfläche darstellt. Bediener können so den Status aller Sicherheitsfunktionen überwachen, Wartungshandlungen zur Erhöhung der Resilienz durchführen und Alarme mit handlungsweisenden Informationen zur Beseitigung von Bedrohungen und Minderung der Risiken erhalten.

Integrierte Risikoursachenanalysen evaluieren jedes Problem und liefern Vorschläge zur Beseitigung. Diese eingebaute Intelligenz reduziert die zur Systemwartung notwendige Expertise. Außerdem beschleunigen die Schritt-



für-Schritt-Anweisungen die Problembeseitigung, was wiederum die Betriebskosten senkt und die Dauer des Problems in der Anlage verkürzt.

Darüber hinaus installiert der ABB Ability Cyber Security Workplace Patches gegen bekannte Bedrohungen, sobald sie zur Verfügung stehen. Ein Backup-Management ist ebenso vorhanden wie die Möglichkeit zur Isolation bestimmter OT- und IT-Umgebungen zum Schutz gegen unberechtigte Zugriffe von außen. Die Cyber-Asset-Inventory-Funktion überwacht zudem den gesamten Netzverkehr in Echtzeit, listet sämtliche Assets anhand einer Analyse des Netzverkehrs auf und informiert den Nutzer über neu hinzugefügte Assets. •

Weitere Informationen unter:  
[www.abb.com/cybersecurity/workplace](http://www.abb.com/cybersecurity/workplace)

---

## NEUE STEUERUNGSPLATTFORM FÜR FREQUENZUMRICHTER

Seit den Tagen, an denen die einzige Aufgabe von Frequenzumrichtern darin bestand, Verbraucher mit Strom zu versorgen, hat sich viel getan. So kann die Rechenleistung der Prozessoren heutiger Umrichter unter anderem dazu genutzt werden,

---

Die Plattform ist darauf ausgelegt, Sicherheitsfunktionen wie Authentifizierung und Firmware-Verschlüsselung zu unterstützen.

eine stetig wachsende Menge an Informationen von den angeschlossenen Systemen zu erfassen und zu analysieren. Diese reichen von genaueren Drehmoment- und Lastschätzungen bis hin zu detaillierten Informationen zum Stromnetz.

Doch mit der zunehmenden Zahl von Schnittstellen, die im Sinne der Konnektivität geöffnet werden, gewinnt auch das Thema Cybersicherheit an Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wird ABB demnächst eine Steuerungsplattform der nächsten Generation für alle ihre Premium-Frequenzumrichter einführen. Die Plattform

wurde von Grund auf darauf ausgelegt, kritische Sicherheitsfunktionen wie die Authentifizierung und Verschlüsselung von Firmware, Dateien und Anwendungen zu unterstützen.

Die neue Plattform ist rückwärts kompatibel mit der aktuellen Generation von ABB-Frequenzumrichtern, was eine einfache und vertraute Einführung gewährleistet. Zur weiteren Erhöhung der Sicherheit und Leistungsfähigkeit können Frequenzumrichter nun auch mit einem Edge-Gateway ausgestattet werden, das eine sichere Verbindung mit cloudbasierten Backends und die Durchführung von lokalen Analysen oder Prozessoptimierungen auf der Grundlage erfasster Umrichter- oder Sensordaten ermöglicht.

Partner und Kunden profitieren aber noch auf andere Weise von den Sicherheitsfunktionen und der hohen Leistungsfähigkeit der neuen Steuerungsplattform. So ist nun erstmalig eine direkte Erweiterung der Umrichter-Firmware über ein Software Development Kit möglich. Dieses ermöglicht die Entwicklung von latenzfreien Anwendungen direkt im Umrichter mithilfe bekannter Technologien wie Matlab Simulink oder C++-Programmierung. Die Anwendungen sind durch Authentifizierung und Verschlüsselung gesichert, während die Isolation von der Kern-Firmware durch neueste Hardwaretechnologien gewährleistet wird. •





## SCHNELLER, EINFACHER UND BESSER MIT HIGH SPEED ALIGNMENT

Von Industrierobotern wird erwartet, dass sie immer komplexere Aufgaben erledigen und mit immer vielfältigeren Umgebungen interagieren. Neben einer höheren Leistungsfähigkeit sind dazu eine schnelle Einrichtung und kurze Zykluszeiten gefragt. Mit anderen Worten, die Geschwindigkeit und die Präzision der Roboter sind entscheidend. ABB hat die besonderen Anforderungen von hochpräzisen Montagelinien genau unter die Lupe genommen und als Antwort die High Speed Alignment Software entwickelt.

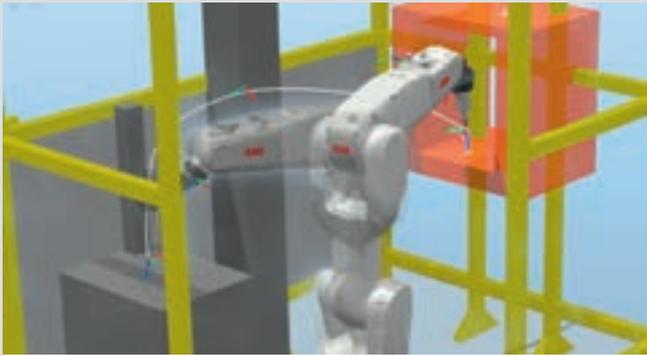
Im Gegensatz zum herkömmlichen „Look-then-Move“-Ansatz nutzt High Speed Alignment Sensoren und eine integrierte adaptive Bildverarbeitungstechnologie, um gleichzeitig eine hohe Präzision und kurze Zykluszeiten zu erreichen. Dank der Sensoren und eines fortschrittlichen Algorithmus zur Bewegungssteuerung ist das System in der Lage, die Position des Roboterwerkzeugs relativ zum Werkstück in Echtzeit zu steuern. High Speed Alignment reduziert nicht nur die durchschnittliche Zykluszeit um 70 % von ~5,6 s auf ~1,7 s, sondern erhöht auch die Genauigkeit um 50 % von 20  $\mu$  auf 10  $\mu$ .

Durch die Entwicklung von technisch einsatzbereiten Prototypen und die parallele Validierung

anhand von Pilotstudien in realen Umgebungen konnte ABB eine schnelle Marktreife erreichen. High Speed Alignment ist das erste Softwarepaket auf dem Markt, das Visual-Servoing-Technologie für 6- und 4-Achs-Roboter bietet.

Eine Auto-Tuning-Funktion, die automatisch die Zeitverzögerung von Sensoren, Filter-Pufferlänge, Regelverstärkung, Verzögerung des Roboters, Totzonen usw. berechnet, erleichtert sowohl Experten als auch Neulingen die Nutzung des Systems. Eine automatische Kalibrierung und Anpassung sorgt für eine einfache Inbetriebnahme und reduziert die Einrichtungszeit von einer ganzen Schicht auf lediglich eine Stunde.

High Speed Alignment wurde vornehmlich für Bereiche der Elektronikindustrie entwickelt, in denen Roboter für hochpräzise Montage- und Pick-&-Place-Aufgaben eingesetzt werden. Die Software eignet sich aber auch für viele weitere potenzielle Anwendungen wie CSSR (Consumer Segments & Service Robots), Automobilindustrie/Tier-1-Zulieferer usw., wo sie durch schnelle Zykluszeiten und höchste Präzision zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit beitragen kann. •



## AUTOMATISCHE ERSTELLUNG KOLLISIONSFREIER PROGRAMME

Kisten stapeln sich, der Platz ist eng, die Zeit ist knapp. Wäre es nicht schön, einen Roboter zu haben, dem man einfach sagen kann, was er tun soll – ohne Wenn und Aber? Da die Integration und Programmierung von Robotern einen großen Teil der Automatisierungskosten ausmachen, hat ABB eine Neuerung für das ABB RobotStudio-Tool eingeführt, mit der automatisch Programme erstellt werden können, die eine kollisionsfreie Bewegung von Robotern in einem Arbeitsbereich garantieren.

Automatisch generierte Programme führen zu flüssigeren und kürzeren Bewegungen und erfordern wesentlich weniger Programmierungszeit. Zudem sind die daraus resultierenden Bewegungsbahnen schneller und häufig auch energiesparender.

In einer internen Vorstudie benötigte ein Programmierer mittleren Niveaus bis zu 20 Minuten, um eine kollisionsfreie Bewegung für einen Roboter in einer beengten Umgebung zu programmieren, während die automatische Erzeugung nur Sekunden dauerte.

Die Innovation von RobotStudio ist eine Kombination aus Open-Source- und Inhouse-Software und der virtuellen Welt des Tools selbst. Alles in allem ebnet die neue Funktionalität den Weg für eine Entwicklung in der Robotik, die Nichtexperten die Nutzung von Systemen erleichtert. •

## ZWEI NEUE FAMILIEN VON GROSSROBOTERN

ABB hat ihr Portfolio an Großrobotern um zwei neue Produktfamilien erweitert. Der IRB 5710 und der IRB 5720 basieren auf einem neuen modularen Plattformdesign und sind bis zu 25 % schneller als andere Großroboter. Sie sind kompakter und robuster, verfügen über eine integrierte Verkabelung und ermöglichen eine längere Laufzeit in komplexen Produktionsanwendungen wie etwa der Fertigung von Elektrofahrzeugen.

Die Roboterfamilien eignen sich für vielfältige Produktionsaufgaben von der Material- und Teilehandhabung über die Maschinenbeschickung bis hin zu hochpräzisen Montagetätigkeiten. Alle Varianten bieten mehrere Montageoptionen und können auch auf dem Kopf hängend betrieben werden. Erhältlich sind die Roboter mit Traglasten von 70 bis 180 kg und Reichweiten von 2,3 bis 3 m.

Die Roboterplattform beinhaltet eine neue Generation von Motoren und kompakten Getrieben, die zusammen mit der intelligenten Brake-Release-Technologie eine Senkung des Energieverbrauchs ermöglichen.

Beide Roboterfamilien sind mit der neuen OmniCore™-Steuerung V250XT erhältlich. Mit der TrueMove- und QuickMove-Bewegungssteuertechnologie von ABB ermöglicht die V250XT dem IRB 5710 und IRB 5720 eine in ihrer Klasse führende Geschwindigkeit und ausgezeichnete Positions- ( $\leq 0,05$  mm) und Bahnwiederholgenauigkeit. •



## UNTERSTÜTZUNG DER SCHIFFFAHRT MIT OVERSEA



OVERSEA ist eine von ABB und Wallenius Marine auf der Basis der ABB Ability™ Genix Plattform entwickelte Softwarelösung, die speziell darauf ausgelegt ist, die Nachhaltigkeit, Effizienz und Sicherheit beim Betrieb von Schiffen zu verbessern. Das System kombiniert digitale Services und ein physisches Flottenunterstützungszentrum zu einer skalierbaren Gesamtlösung für Schiffseigner und -betreiber.

Die bahnbrechende digitale Lösung, die von Kapitänen, leitenden Ingenieuren und Fernsupportexperten konzipiert wurde, befasst sich schwerpunktmäßig mit drei Bereichen, die den Schiffsbetrieb maßgeblich beeinflussen: die technische Leistung, die ökologische Leistung und die Fahrtleistung. OVERSEA sammelt, transformiert, bündelt und kontextualisiert Daten und visualisiert sie auf eine praktisch nutzbare Weise. So werden Daten zu Erkenntnissen und Erkenntnisse zu Maßnahmen, die dank des Oversea Support Centers für ein einzelnes Schiff oder eine ganze Flotte umgesetzt werden können.

Eine Pilotstudie an einem einzelnen Schiff wurde bereits in Zusammenarbeit mit Wallenius Marine erfolgreich abgeschlossen. Zurzeit findet ein erweiterter Pilotbetrieb mit drei Schiffen in einer realen Umgebung statt. Dabei werden die Funktionalitäten zur Optimierung der technischen Leistung und Identifizierung von Verbesserungspotenzialen mithilfe einfacher und fortschrittlicher Analysen sowie die Schiff-Land-Kommunikation

und Workflows getestet. Die in der Entwicklung befindliche vollumfängliche OVERSEA-Lösung wird darüber hinaus entsprechende Funktionalitäten zur Optimierung der ökologischen Leistung und der Fahrtleistung beinhalten<sup>1)</sup>.

Die Leistungsanalyse von OVERSEA ermöglicht die Aufschlüsselung der ökologischen Gesamtleistung in technische und Fahrtleistungsaspekte, was wiederum die Bestimmung von Schwachpunkten und entsprechenden Abhilfemaßnahmen erlaubt. Hochmoderne Modelle, die maschinelle Lernverfahren und physikalisch basierte Methoden miteinander kombinieren, sorgen in allen Bereichen für präzise Ergebnisse.

Das Ziel der OVERSEAS-Lösung ist es, Schiffe, das Büro des Kunden und das Flottenunterstützungszentrum miteinander zu verbinden, um eine enge Zusammenarbeit zu ermöglichen, wertvolle Erkenntnisse zu liefern und Echtzeit-Empfehlungen zur Umsetzung konkreter Maßnahmen zu bieten. Auf diese Weise helfen ABB und Wallenius Marine der Schifffahrtsindustrie dabei, den Schiffsbetrieb zu optimieren und gleichzeitig den Schadstoffausstoß zu reduzieren, um eine effizientere und nachhaltigere Zukunft zu gewährleisten. ●

—  
**Fußnote:**

<sup>1)</sup> Zwei weitere Releases der digitalen OVERSEA-Lösung sind für 2023 vorgesehen.

## BESSERE SERVICEENTSCHEIDUNGEN FÜR ABB-MESSGERÄTE MIT ABB ABILITY™ SMART MASTER



Der weltweit installierte Bestand an Feldgeräten für sensorische Aufgaben wie Durchflussmessern, Füllstand-Messumformern, Temperatursensoren, Drucksensoren und Ventilstellungsreglern ist riesig, und ABB ist ein bedeutender Lieferant auf diesem milliardenschweren Markt.

Messgenauigkeit, Einhaltung von Vorschriften, Betriebszustand, Fehlerdiagnose und Ausfall-

### Smart Master erfasst Daten von Feldgeräten zum Zweck der Zustandsüberwachung.

vorhersage sind entscheidende Aspekte für die Leistungsfähigkeit eines Feldgeräts. Um all dies bei einem riesigen installierten Bestand im Blick zu behalten, ist eine umfassende Asset-Performance-Management-Plattform erforderlich.

ABB Ability Smart Master ist eine solche Plattform, die speziell für große installierte Bestände an Feldgeräten ausgelegt ist.

Smart Master erfasst Daten von Feldgeräten nach einem vorgegebenen Plan aus der Ferne zum Zweck der Zustandsüberwachung. Dabei wird der Funktionszustand des jeweiligen Geräts

überprüft und der NAMUR-Status<sup>1)</sup> ausgelesen, um dem Kunden einen Überblick über seinen installierten Bestand zu ermöglichen. Dieses Wissen hilft Kunden mit und ohne ABB-Serviceunterstützung dabei, Servicehandlungen, Ersatzteilbestellungen und den Austausch von Gräten zu planen. Zeichnet sich ein Ausfallmuster ab, liefern eine Kalenderanalyse und ein Analysebericht einen genaueren Einblick in die Ausfallszenarien.

Smart Master ist als dreistufige Lösung erhältlich:

- On-Premise mit Fernüberwachungsunterstützung – die erfassten Daten werden innerhalb des Kundennetzwerks verwaltet.
- Dedicated Cloud mit einer dedizierten Verbindung zu jedem Kunden für die Überwachung – die erfassten Daten werden sicher in der dedizierten Infrastruktur von ABB für Kunden verwaltet.
- Shared Cloud mit einer globalen Verbindung zu allen Kunden für die Überwachung – die erfassten Daten werden sicher in der gemeinsamen Cloud-Infrastruktur von ABB für alle Kunden verwaltet.

Der Fernzugriff spart Kosten, da Remote-Experten bestimmte Handlungen vorab aus der Ferne durchführen können und spätere Routinebesuche durch einen Ingenieur vor Ort reduziert werden können.

Häufig werden Messgräte an Stellen eingesetzt, an denen eine Anbindung schwierig ist. In solchen Fällen verbindet die FDI-Technologie (Field Device Integration) die Geräte ohne zusätzliche Verdrahtung oder Störung des Betriebs. Mit Smart Master ist auch eine Anbindung per 3G/4G und Narrowband-IoT (NB-IoT) möglich. •

#### Fußnote

<sup>1)</sup> NAMUR ist ein internationaler Verband der Anwender von Automatisierungstechnik und Digitalisierung der Prozessindustrie und Herausgeber entsprechender Standards.

## ABB ERÖFFNET F&E-HUB FÜR SERVOPRODUKTE IN NANJING

Servoprodukte von ABB bilden das Herzstück einer breiten Palette von Bewegungs- und Maschinensteuerungslösungen für diverse industrielle Anwendungen – angefangen bei der Verpackungs-, Textil- und Druckindustrie über die Lebensmittel- und Getränkeindustrie bis hin zur Elektro- und Elektronikindustrie. Die Lösungen helfen Systemintegratoren, OEMs und Maschinenbauern nicht nur dabei, ihren Energieverbrauch zu senken und die Verfügbarkeit ihrer Anlagen zu erhöhen, sondern auch die Wartungskosten zu minimieren und die Produktivität zu steigern.

Mit dem Ziel, fortschrittlichste Servoprodukte und hochwertige Systemlösungen für die Bewegungssteuerung anzubieten, hat ABB im Jahr 2020 einen neuen F&E-Hub für Servoprodukte in Nanjing, China, eröffnet.

Der neue Hub ist ein bedeutender Meilenstein für ABB auf dem Weg zum bedeutenden Player auf

dem wachsenden chinesischen Servomarkt. Von besonderer strategischer Bedeutung für ABB und ihre Kunden sind die Nähe zum größten Markt in China und die damit verbundenen kürzeren Liefer- und Reaktionszeiten.

Durch die eigene Forschung und Entwicklung ist der neue Hub in der Lage, Eingaben von Kunden binnen kürzester Zeit von der Idee zur Umsetzung zu führen – eine Möglichkeit, die den Hub auch als Arbeitgeber für qualifiziertes Personal aus der Region interessant machen dürfte.

Seit Gründung des F&E-Hubs ist die Belegschaft von 14 auf 40 Personen gewachsen, die mittlerweile unter anderem in den Bereichen Hardware, Firmware, Test und Produktmanagement tätig sind. Die ersten Produkte des Hubs sollen Ende 2022 auf den Markt kommen. •



## MODULARER ENERGIESPEICHER BORDLINE® ESS

CO<sub>2</sub>-arme Antriebssysteme mit einem integrierten Onboard-Energiespeichersystem (ESS) spielen eine wichtige Rolle bei der nachhaltigen Entwicklung des Eisenbahnsektors. Der verstärkte Einsatz dieser Systeme trägt nicht nur zur Dekarbonisierung des Transportsektors bei, sondern bietet eine Vielzahl weiterer Vorteile wie geringere Betriebskosten, eine größere betriebliche Flexibilität und eine verbesserte Fahrzeugleistung.

Traktionsbatterien für den Massentransport müssen in der Lage sein, die erforderliche Leistung mit maximaler Zuverlässigkeit über lange Betriebs-

Das modulare Design sorgt für eine hohe Skalierbarkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit und Flexibilität.

zeiträume bereitzustellen. Um diese Anforderung des Marktes zu erfüllen, hat ABB eine Reihe von Hochleistungsprodukten unter dem Namen BORDLINE ESS entwickelt.

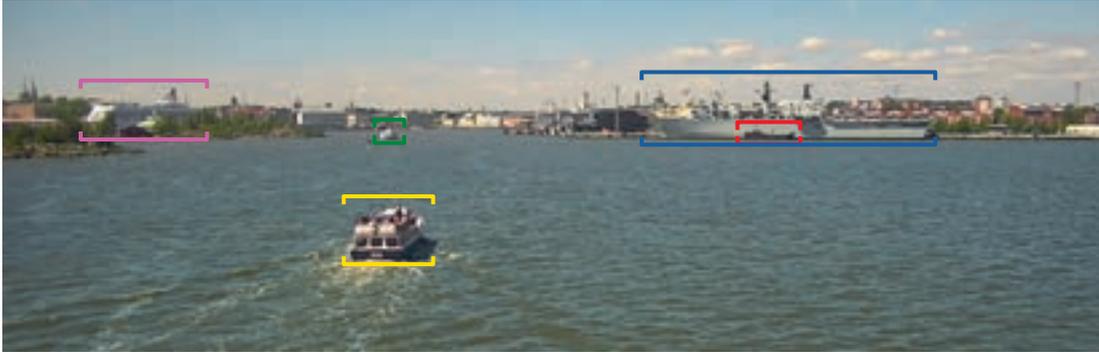
BORDLINE ESS-Batteriepakete besitzen eine modulare Architektur, die eine Standardisierung auf Teilsystemebene ermöglicht, ohne die notwendige Flexibilität auf der Produktebene zu beeinträchtigen. Das modulare Design sorgt für eine problemlose Skalierbarkeit hinsichtlich der Spannung und installierten Energie mit einer minimalen Anzahl verschiedener Module.

Das Herzstück jedes Batteriepakets bilden Module aus leistungsstarken prismatischen Lithium-Ionen-Zellen mit einer Anode aus Lithium-Titan-Oxid (LTO). Das BORDLINE ESS zeichnet sich durch eine hohe Eigensicherheit (z. B. Toleranz gegen Missbrauch), einen langen Lebenszyklus, die Möglichkeit zur Schnellladung, eine hervorragende Lebensdauer auch bei 35 °C und ein gutes Tieftemperaturverhalten aus.

Einschließlich laufender Aufträge hat ABB bereits Hochleistungs-Traktionsbatterien für über 700 Fahrzeuge geliefert, die in Zügen, E-Bussen, Trolleybussen und Bergbaufahrzeugen zum Einsatz kommen. •



## ERFORSCHUNG VON AUTONOMEN LÖSUNGEN FÜR SCHIFFE



Neue Technologien bieten die Möglichkeit, bekannte Dinge aus neuen Perspektiven zu betrachten. Eine zentrale Aufgabe bei der Navigation in der Seefahrt ist die des Ausgucks, der die Umgebung des Schiffs aufmerksam beobachtet, um vor möglichen Hindernissen oder Gefahren zu warnen. Eine weitere bedeutende Aufgabe ist die Bestimmung der Entfernung zu Hindernissen, was besonders im Hafen und in beengten Gewässern wichtig ist. Bei beiden Aufgaben können Kameras und autonome Systeme die Brückenbesatzung erfolgreich unterstützen.

ABB forscht auf dem Gebiet der Bildverarbeitungssysteme für maritime Anwendungen mit dem Ziel, aus den Informationen, die von den vielen bereits an Bord installierten Kameras erfasst werden, einen Mehrwert zu generieren. Die Nutzung der maschinellen Wahrnehmung verändert unsere Sicht auf die Dinge und ermöglicht sicherere, effizientere und autonomere Abläufe in der Schifffahrt. Ein System aus Kameras und Algorithmen zur maschinellen Wahrnehmung kann den menschlichen Ausguck/die Brückenbesatzung mit kontinuierlichen, objektiven Beobachtungen und präzisen Entfernungsangaben unterstützen sowie tote Winkel abdecken, die von der Brücke aus nicht einsehbar sind. Ein kamerabasiertes System ist zudem in der Lage, kleine, nichtmetallische Hindernisse zu erkennen, die das Radar nicht erfasst.

Die Schlüsseltechnologien für eine maschinelle Verarbeitung von Bilddatenströmen sind die

Objekterkennung und die semantische Segmentierung. Das Ziel der Objekterkennung ist es, sämtliche Instanzen von Objekten einer oder mehrerer Klassen zu erkennen. Dazu muss die Maschine jedes Pixel eines Bilds interpretieren und der richtigen Klasse zuordnen. Stand der Technik bei diesen Technologien sind Modelle auf der Basis künstlicher neuronaler Netze.

Die Forschungen von ABB sind von zentraler Bedeutung für die Entwicklung autonomer Lösungen für Schiffe, wie sie z. B. das ABB Ability™ Marine Pilot Vision System bietet. Die Forschungen zeigen, welches Potenzial und

### Die Nutzung der maschinellen Wahrnehmung verändert unsere Sicht auf die Dinge.

welche Vorteile bildverarbeitende Lösungen – in diesem Fall monokulare Vision-Systeme – bieten können, wenn sie in das Sicherheitssystempaket für die Schifffahrt integriert werden.

In einer der kommenden Ausgaben der ABB Review wird sich ein Artikel genauer mit der Entwicklung dieser Technologie befassen und erklären, wie das bildverarbeitende System seine Umgebung versteht und Seeleuten dabei hilft, noch sicherer zu navigieren. ●

## ENERGIEEFFIZIENTE PERMANENTMAGNET-TECHNOLOGIE FÜR WELLENGENERATOREN

Die Stromerzeugung mit einem Generator, der direkt auf der Hauptantriebswelle eines Schiffs sitzt, ist generell effizienter als der Betrieb von Hilfsgeneratoren. Um die Vorteile eines solchen Wellengenerators und insbesondere seinen Wirkungsgrad zu maximieren, kann der Rotor statt mit herkömmlichen Rotorwicklungen mit Permanentmagneten (PMs) ausgelegt werden. Mit den Rotorwicklungen und den dazugehörigen Komponenten entfallen Faktoren, die einen Großteil der Gesamtenergieverluste eines Generators ausmachen. Im Vergleich zu herkömmlichen Generatoren erreicht die PM-Ausführung eine höhere Energiedichte und Effizienz bei kleinerer Größe. So können bei Volllast signifikante und im Teillastbereich (in dem Schiffe normalerweise betrieben werden) noch größere Energieeinsparungen (bis zu 10 %) erzielt werden. In Verbindung mit einem drehzahl-geregelten Antrieb (Variable Speed Drive, VSD) kann das Antriebssystem stets im effizientesten Bereich betrieben werden.

Der Vorteil von PM-Wellengeneratoren für Schiffsbauer und Systemintegratoren liegt in ihrer kompakteren und leichteren Bauweise, die eine schnelle und einfache Installation ermöglicht.

Schiffseigner und -betreiber profitieren von Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch und

bei den Wartungskosten. Im Vergleich zu bisherigen Lösungen können mit einem PM-Wellengenerator die Kraftstoffkosten sofort um bis zu 4 % gesenkt werden. Auch der Schadstoffausstoß wird reduziert, und da ein PM-Rotor weniger Bauteile umfasst, fallen die Wartungs- und Stillstandskosten geringer aus.

PM-Wellengeneratoren bieten verschiedene Betriebsarten, was für zusätzliche Flexibilität, Redundanz und Sicherheit sorgt. Der „normale“ Generatormodus wird auch als Power-Take-Off-Modus (PTO) bezeichnet. Im Power-Take-In-Modus (PTI) arbeitet der Generator als Motor und liefert vorübergehend zusätzliche Leistung an die Antriebswelle, sodass eventuell ein kleinerer Hauptmotor gewählt werden kann. Der sogenannte Power-Take-Home-Modus (PTH) ermöglicht einem Schiff die sichere Rückkehr in den Hafen mit elektrischem Antrieb, wenn der Hauptmotor ausfällt.

Die Reederei Himalaya Shipping wird insgesamt zwölf neue Massengutfrachter mit dem neuesten PM-Wellengenerator von ABB, dem AMZ 1400, ausrüsten. Der Lieferumfang umfasst zudem Frequenzumrichter vom Typ ABB ACS880, die die Schiffsleistung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, dem Frachtgewicht und der elektrischen Last optimieren. •



Permanentmagnet-Technologie verbessert die Effizienz, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Schiffen



Senkt CO<sub>2</sub>-Emissionen um mehrere Tonnen pro Tag



20% kleiner, 30% leichter als herkömmliche Generatoren



## ROTIERENDE PHASENSCHIEBER ZUR NETZSTABILISIERUNG

Mit der zunehmenden Einbindung erneuerbarer Energiequellen in das Stromnetz sinkt die Zahl der Generatoren mit hoher Massenträgheit, wie sie traditionell in konventionellen Kraftwerken zum Einsatz kommen, sowohl gemessen an der tatsächlichen Anzahl als auch am Anteil an der Gesamterzeugungsleistung. Dies kann gravierende Auswirkungen haben, denn die Massenträgheit wird benötigt, um plötzliche Veränderungen im Netz – z. B. bei einer Störabschaltung eines Generators – zu kompensieren und sicherzustellen, dass die Frequenz innerhalb der strikten Grenzwerte bleibt.

Doch wie kann die Massenträgheit in einem Stromnetz erhalten werden, wenn immer mehr Generatoren mit hoher Trägheit wegfallen? Die Antwort liefern rotierende Phasenschieber.

Ein Phasenschieber ist eine große rotierende Maschine, die physische Trägheit bereitstellt, um sofortige Unterstützung für das Netz zu leisten und die Stabilität des Netzes unabhängig von der eingehenden Spannung und Frequenz zu erhalten.

Vor 50 Jahren und früher waren rotierende Phasenschieber wesentlich verbreiteter als heute, da ihre vornehmliche Funktion – die Blindleistungskompensation – mittlerweile von verschiedenen

anderen Lösungen erfüllt wird. Allerdings sind diese Systeme nicht in der Lage, das Netz in dem Maße zu stabilisieren wie ein rotierender Phasenschieber, dessen Fähigkeiten über die Blindleistungskompensation hinausgehen. Wird in einem System zusätzliche Massenträgheit benötigt, kann ein vorhandener rotierender Phasenschieber um ein Schwungrad erweitert werden. Diese Möglichkeit ist nicht nur effektiv und ökonomisch, sondern erhöht im Vergleich zur Installation eines größeren Phasenschiebers das Potenzial zur Reduzierung von Verlusten.

ABB hat sich entschlossen, das Schwungrad für den rotierenden Phasenschieber mit einer zum Patent angemeldeten integrierten Sicherung zu versehen, anstatt auf externe Schutzfunktionen zu setzen.

Die Stromnetze der Zukunft erfordern dezentrale Lösungen zur Erhaltung der Netzstabilität und -resilienz. Rotierende Phasenschieber sind eine bewährte Lösung, die nahezu augenblicklich aktiviert werden kann, um – auch in entlegenen Gebieten – schwache oder gestörte Netze zu stärken. •

Mehr hierzu erfahren Sie im Artikel „Stützen fürs Netz“ auf den Seiten 66–71 dieser Ausgabe der ABB Review.



# Digitalisie- rung





Das Versprechen der Digitalisierung ist allgemein bekannt. Allerdings ist die Umsetzung häufig schwierig, zeitaufwändig und teuer. ABB hat es sich zum Ziel gesetzt, ihren Kunden dabei zu helfen, das Potenzial der Automatisierung zu erschließen und den Weg dorthin zu vereinfachen und zu beschleunigen. Digitalisierung sollte nicht nur für Veränderung stehen, sondern auch verändern.

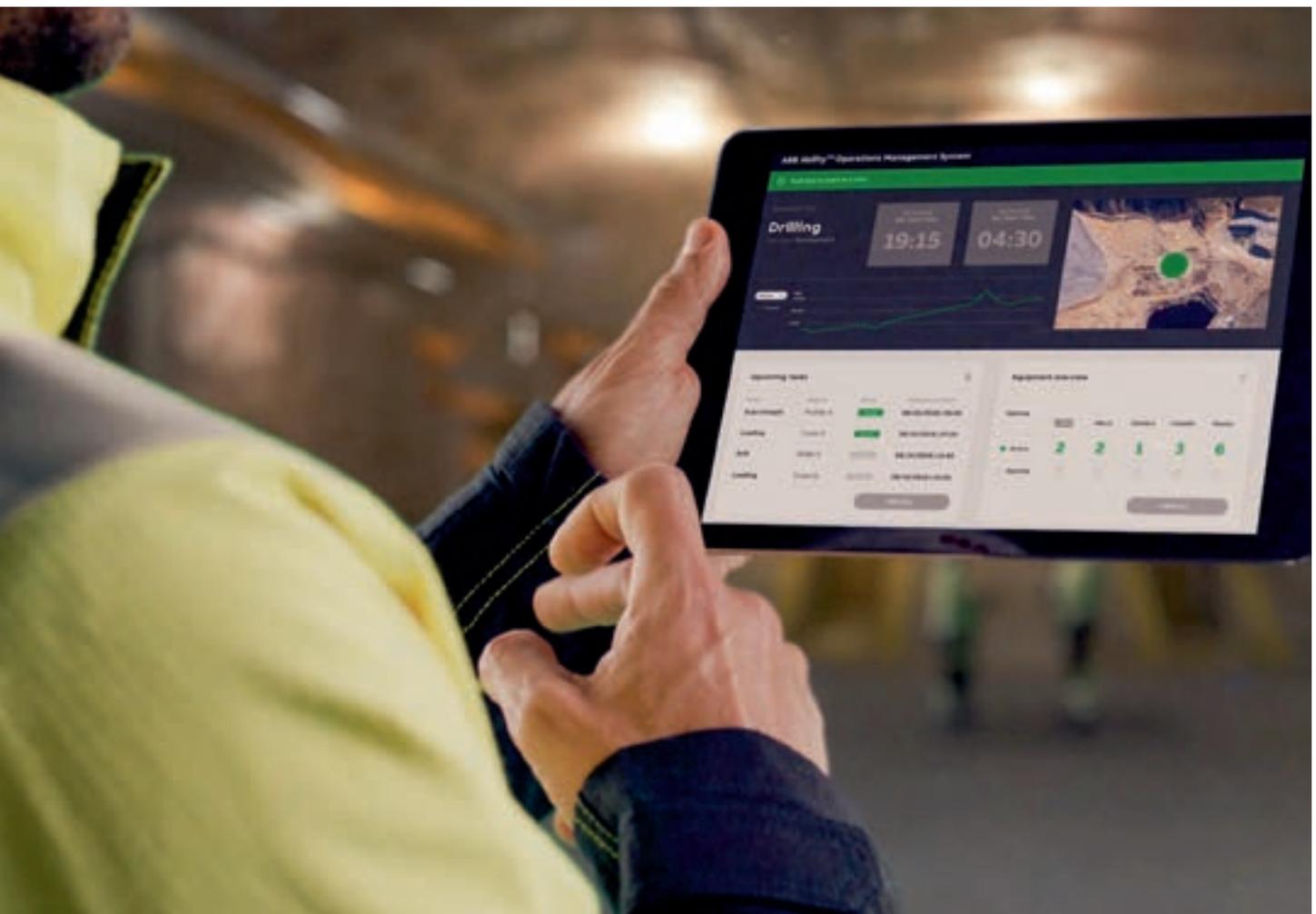
- 34 **Weg mit den Kabeln**  
5G für die Prozessautomatisierung
- 40 **Sicheres Onboarding**  
OPC UA für eine sichere industrielle Kommunikation
- 44 **Perfekter Kreislauf**  
Digitalisierung und Nachhaltigkeit
- 50 **Digitale Zukunft**  
Umrichter-Steuerungsplattform der nächsten Generation

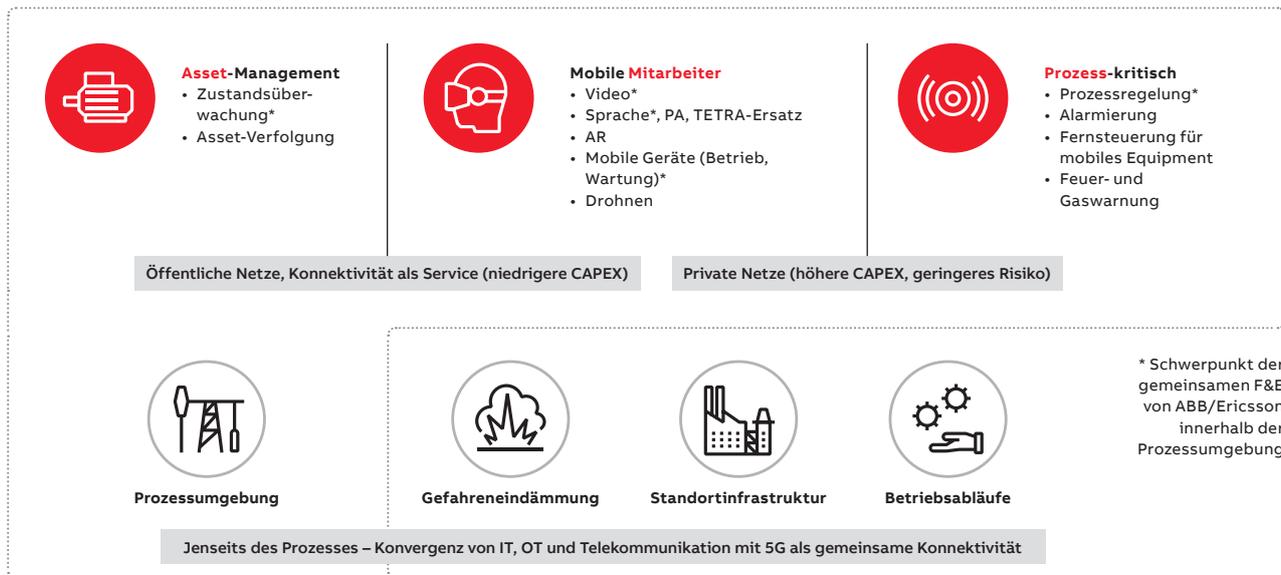


5G FÜR DIE PROZESSAUTOMATISIERUNG

# Weg mit den Kabeln

Das Potenzial von 5G für die Industrie ist ein viel diskutiertes Thema. Da seit 2020 die ersten kommerziellen 5G-Netze für Endverbraucher zur Verfügung stehen, stellt sich die Frage, ob nun die Zeit reif ist, mobile 5G-Breitband-technologie für die Prozessautomatisierung einzusetzen →01.





02

— 01 5G startet in vielen Bereichen durch. Kann es auch zur Verbesserung und Vereinfachung der Prozessautomatisierung genutzt werden?

— 02 Konvergente Anwendungen und der Prozessautomatisierung.

Schwerpunkt der weiter andauernden Standardisierungsbemühungen für 5G ist die Bereitstellung einer vereinheitlichten Kommunikationsinfrastruktur, die drahtgebundene und drahtlose Netze integriert und die gesamte Kommunikation der Informationstechnologie (IT) und Betriebstechnologie (OT) zusammenführt [1]. Seit einem halben Jahrzehnt arbeitet ABB daran, die 5G-Technologie aus der Automatisierungsperspektive mitzugestalten und den damit verbundenen Mehrwert für Kundenanwendungen zu erschließen.

5G zielt darauf ab, nahezu jede industrielle Anwendung – z. B. die Übertragung von Telemetriedaten, die Bereitstellung einer Infrastruktur für mobile Mitarbeiter oder die Übertragung von zeitkritischen Steuersignalen – auf Basis einer einzigen Technologiefamilie und einer einzigen Infrastruktur zu unterstützen →02. Einige dieser

5G bietet die Möglichkeit, Kommunikationsdienste für sämtliche Anwendungen bereitzustellen.



**Dirk Schulz**  
ABB Corporate Research  
Ladenburg, Deutschland  
dirk.schulz@de.abb.com

Anwendungen können über öffentliche 5G-Netze ausgeführt werden, während andere die Kontrolle über die Netzressourcen und eine Datensicherheit erfordern, wie sie nur isolierte, lokale 5G-Netze bieten können. Ein weiteres Ziel von 5G ist die Zusammenführung von OT (Automatisierung), IT und Telekommunikation in einem vereinheitlichten, von Funktechnik geprägten Netz.

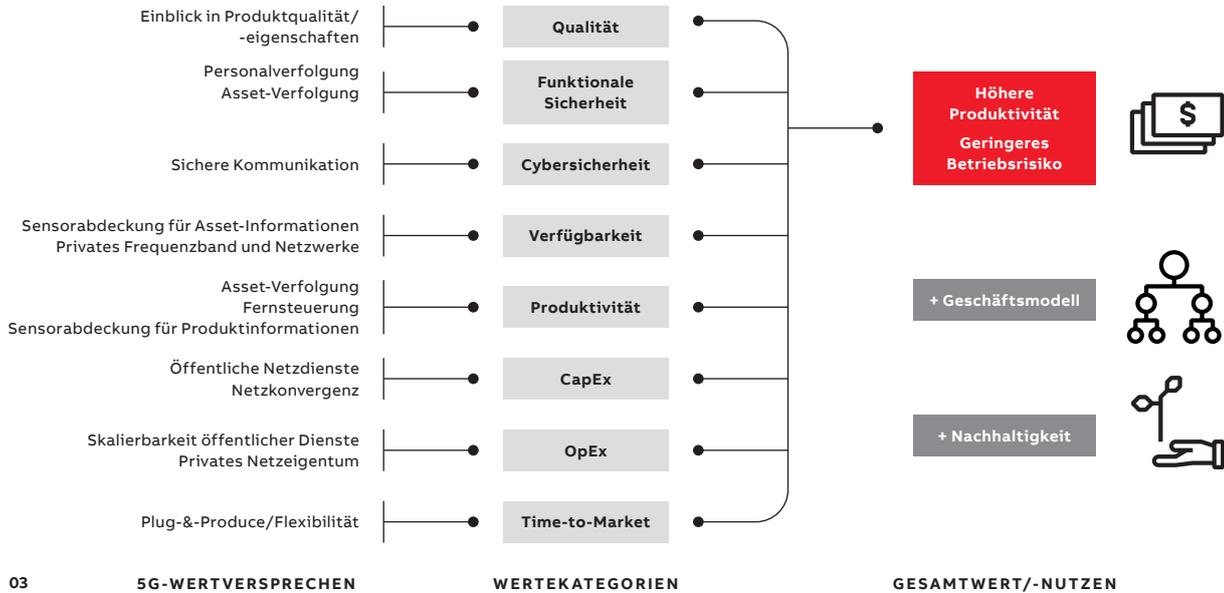
Vor diesem Hintergrund haben sich ABB und Ericsson mit der Eignung zurzeit verfügbarer 5G-Breitbandtechnologie für den Einsatz in Prozessautomatisierungsanwendungen befasst. Die Untersuchungen lieferten wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Netzwerk-Performance und möglicher Konzepte für die Konfiguration und das Management von 5G-Systemen.

### Mehrwert einer vereinheitlichten drahtlosen Infrastruktur

Das Ziel von 5G, eine vereinheitlichte drahtlose Infrastruktur bereitzustellen, bringt eine Vielzahl von Wertversprechen mit sich →03. Vor allem bietet 5G die Möglichkeit, mit nur einer einzigen Infrastruktur Kommunikationsdienste für sämtliche Anwendungen bereitzustellen und jede Form der Mobilität zu unterstützen. Zudem bietet die Technologie die notwendige Flexibilität, um Produktionsprozesse ohne zusätzlichen Verkabelungsaufwand neu zu konfigurieren oder die Sensorabdeckung zu erhöhen, um die Anlagenverfügbarkeit zu verbessern und bessere Einblicke in Produkte oder Prozesse zu ermöglichen. Kunden haben die Möglichkeit, selbst in die erforderliche Infrastruktur zu investieren und diese zu verwalten oder die Konnektivität als Dienstleistung einzukaufen und so die Infrastrukturkosten an den Mehrwert zu koppeln, der sich aus der konvergenten drahtlosen Konnektivität ergibt. Anstatt mehrere drahtgebundene und drahtlose IT- und OT-Systeme und Sicherheitslösungen zu verwenden, könnten sämtliche Kundenanforderungen durch eine sichere, hochverfügbare Infrastruktur abgedeckt werden.

### 5G – Umsetzung und Realität

Die Standardisierung und Entwicklung im Mobilfunkbereich ist ein kontinuierlicher Prozess, und wie bei vorherigen Mobilfunktechnik-Genera-



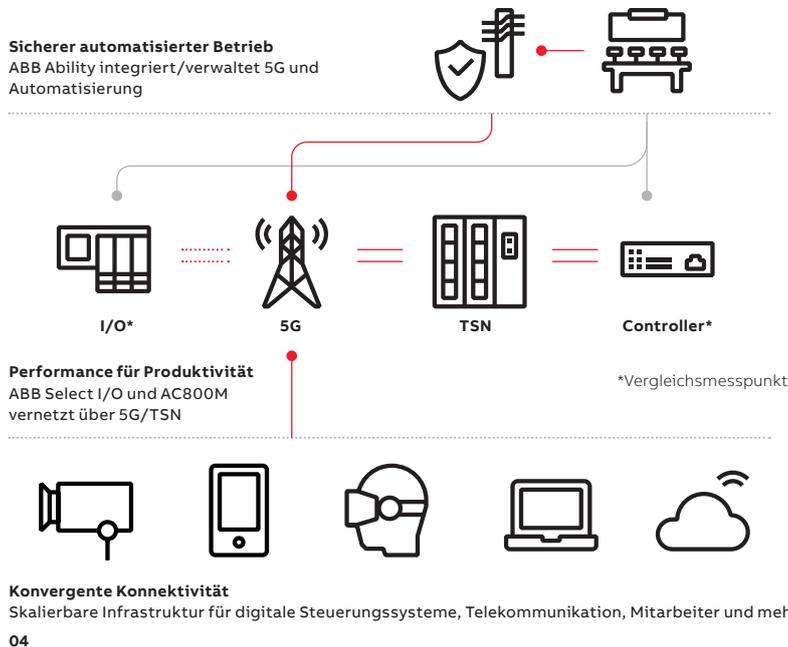
tionen werden die im Folgenden genannten 5G-Funktionalitäten schrittweise am Markt verfügbar gemacht. Jedes Release des Standards befasst sich schwerpunktmäßig mit einer anderen Klasse von Anwendungen, angefangen mit mobilem Breitband (Release 15), das seit 2020 die Grundlage für kommerziell erhältliche Lösungen und öffentliche Netze bildet. Die nachfolgenden Releases 16 bis 18 sind teilweise fertiggestellt und befassen sich mit latenzarmer Kommunikation und der Einbindung einer großen Zahl von IoT-Geräten (Internet of Things) – auch wenn entsprechende Produkte und private oder öffentliche Netze noch nicht kommerziell verfügbar sind. Bis dato konzentrieren sich die 5G-Standards verständlicherweise auf die Anforderungen mobiler Verbraucher. Für branchenerfahrene Partner wie ABB und Ericsson, die sowohl die

Automatisierung als auch 5G verstehen, ist es nun sinnvoll zu untersuchen, was die Umsetzung dieser neuen Standards in der Praxis tatsächlich zu leisten vermag.

**5G auf dem Prüfstand**

Um die oben genannten Wertversprechen zu erfüllen, muss 5G technisch in der Lage sein, die drahtgebundene Kommunikation nach industriellen Maßstäben zu ersetzen. Voraussetzung hierfür ist eine eingehende Prüfung der vorhandenen Technologie und die Entwicklung neuer Fähigkeiten – insbesondere im Hinblick auf folgende Fragestellungen im Zusammenhang mit der Bereitstellung einer vollständigen Automatisierungslösung wie sie in →04 dargestellt ist:

- **Leistungsfähigkeit:** Ist 5G in der Lage, typische Prozessautomatisierungsanwendungen über ein und dieselbe (konvergente) Netzwerkstruktur auszuführen, und wie können Ethernet-basierte Protokolle wie PROFINET über ein IP-basiertes Netzwerk ausgeführt werden? Zu den relevanten Anwendungen gehören Prozessregelungen mit Zykluszeiten bis 250 ms, das Management von Geräten und Anlagen sowie die Erfassung von IoT-Telemetriedaten. Themen wie Motion Control, Sequence of Events (SoE) oder die Kommunikation mit hoher Integrität für Sicherheitsanwendungen wurden bei dieser ersten Untersuchung nicht berücksichtigt.
- **Konvergenz:** Können Automatisierungs- und Telekommunikationsanwendungen auf derselben Netzinfrastruktur zusammengeführt werden? Eine solche Konvergenz ermöglicht die gleichzeitige Ausführung von Prozessregelungen und digitalen Anwendungen neben Video, Sprache, Zugriffskontrolle usw., ohne dass die Leistungsfähigkeit beeinträchtigt wird und zusätzliche Investitionen über die konvergente Netzwerkinfrastruktur hinaus erforderlich sind.



—  
03 Wertversprechen einzelner 5G-Merkmale.

—  
04 ABB-Automatisierungsumgebung mit einer in Zusammenarbeit mit Ericsson erstellten 5G-Infrastruktur.

—  
05 Sicherheit ist ein wichtiger Aspekt jeder neuen Technologie.

- **Netzwerkautomatisierung:** Wie kann ein ganzes Mobilfunknetz aus Automatisierungsperspektive einfach und sicher betrieben werden? Nutzer mit Automatisierungshintergrund – einschließlich Bedienpersonal, Ingenieuren und auch Netzwerkexperten – sollten ohne ausführliche Schulung oder ein genaues Verständnis der Funktechnologie auskommen [2].
- **Sicherheit:** Erfüllt 5G die Anforderungen an die Netzsicherheit angesichts der Risiken, die mit drahtloser Übertragung, Internettechnologie und der Konvergenz von Anwendungen verbundenen sind →05?

Diesen Fragen ist ABB in Zusammenarbeit mit Ericsson im Rahmen von Tests und Entwicklungsarbeiten an einem eigens dafür eingerichteten privaten Campusnetz nachgegangen →04.

Eine Besonderheit der Versuchsanordnung ist das verteilte 5G-Campusnetz, das zwischen den ABB-Forschungszentren in Schweden und Deutschland auf der Basis von Ericsson-Produkten eingerichtet wurde. Dieses sogenannte 5G-NSA-Netz (Non-Standalone) nutzt 4G/LTE für den Netzmanagement-Verkehr und 5G-NR-Konnektivität (New Radio) für den industriellen Datenverkehr, z. B. zur Übertragung von Überwachungsdaten oder zeitkritischen Anwendungsdaten. Ein Netzbetreiber war nicht erforderlich, stattdessen wurde ein sogenanntes lokales Frequenzband (zwischen 3,7 und 3,8 GHz in Deutschland und Schweden) genutzt [3].

Anwendungsseitig wurde ein einfaches Regelungssystem bestehend aus einem Controller vom Typ ABB AC800M und einer Remote-I/O vom Typ ABB Select I/O, die über PROFINET IO miteinander verbunden sind, auf 5G migriert. Statt über einen Ethernet-Ring wurde die Remote-I/O über redundante industrielle 5G-Router verbunden. Durch zusätzlichen synthetisch erzeugten Datenverkehr wurde

die Skalierbarkeit solcher Regelungsanwendungen untersucht und die Koexistenz mit digitalen Diensten oder Telekommunikationsverkehr überprüft.

Unter anderem wurden Vergleiche der Kommunikationslatenz und des Ausfallverhaltens (d. h. Nutzung eines redundanten Kommunikationspfads) zwischen dem drahtlosen 5G-Netz und heutigen

—  
**Die Tests und Entwicklungsarbeiten erfolgten an einem eigens eingerichteten privaten Campusnetz.**

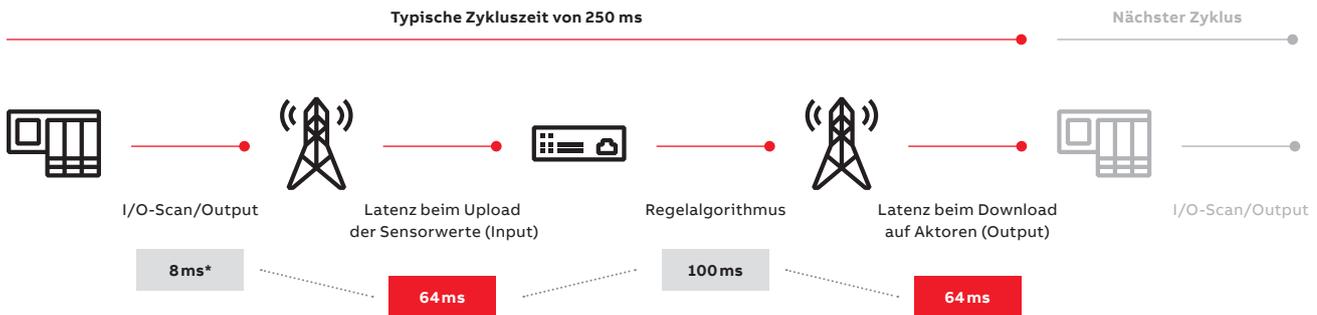
glasfaserbasierten Netzen angestellt. Dazu wurden Messungen auf der Verbindungsschicht direkt an den Ethernet-Schnittstellen des Controllers und der I/O-Geräte vorgenommen →04.

Zur Automatisierung des Funknetzbetriebs wurden 5G-Konfigurations- und -Managementfunktionen in die ABB Ability™ Edgenius Edge-/Cloudplattform integriert. Dies ermöglicht die Nutzung von sicherheitsbezogenen 5G-Merkmalen wie gegenseitige Authentifizierung, Nutzungskontrolle und sichere Kommunikation über die ABB-Automatisierungsumgebung gemäß den Anforderungen der Cybersicherheitsnorm IEC 62443.

#### **Bereitschaft von 5G für die Prozessautomatisierung**

Die zentrale Frage der 5G-Forschung ist, ob 5G die erforderliche Latenz und Verfügbarkeit bieten kann, um eine kabelbasierte Kommunikation zu ersetzen. Die durchgeführten Tests haben gezeigt, dass sich durch Optimierung der Einstellungen für das Funkzugangsnetz (Radio Access





06

Network, RAN) des 5G-Campusnetzes Uplink- und Downlink-Latenzen von 64 ms bei einer Verfügbarkeit von 99,9999 % erreichen lassen. Diese Verbesserung reicht aus, um Prozessregelungen mit einer Zykluszeit von 250 ms auszuführen →06. Niedrigere Latenzen sind möglich, wenn die betreffende Anwendung aufeinander folgende Packet-Timeouts oder verspätete Paketübermittlungen – oder sogar eine geringere Verfügbarkeit – tolerieren kann. Darüber hinaus kann durch Replizieren von I/O-Daten über zwei unabhängige Netzpfade die Toleranz von Anwendungen gegenüber einem Ausfall eines 5G-Routers oder einer Funkverbindung im RAN erhöht und die Verfügbarkeit des 5G-Kommunikationsdienstes in einem störungsfreien System verbessert werden.

IP-basierte Protokolle wie OPC UA oder Modbus TCP können genutzt werden, um nativ mit 5G zu kommunizieren. Selbst PROFINET-IO-Lösungen mit dem AC800M und Select I/O lassen sich mithilfe eines Layer-2-Tunneling-Protokolls (L2TP) realisieren. Durch entsprechende Konfiguration des Select-I/O-Moduls können Begrenzungen der Paketgrößen aufgrund des Tunnel-Overheads vermieden werden.

Wenn es darum geht, eine 5G-Systeminfrastruktur für die Nutzung von mehreren Zehntausend I/O-Signalen, Hunderten von Videokameras und mobilen Geräten zu skalieren, spielt die Effizienz der Netzbetriebsprozesse eine äußerst wichtige Rolle. Aus diesem Grund wurde eine Management-API (Application Programming Interface) namens 5G Network Exposure Interface von Ericsson entwickelt und in das digitale Ökosystem von ABB integriert, um ein sicheres On- und Offboarding von Mobilfunkgeräten sowie die Konfiguration und Überwachung der Dienstgüte (Quality of Service, QoS) für einzelne Datenverbindungen – z. B. zwischen einem Controller und einer Remote-I/O – aus der Automatisierungsumgebung heraus zu ermöglichen. Die API vereinfacht den alltäglichen Betrieb eines 5G-Mobilfunknetzes, ohne die Sicherheit oder Leistungsfähigkeit aus der Sicht des Netzmanagements zu beeinträchtigen →07. So ermöglicht die Integration der API die Verwendung der

vorhandenen 5G-Sicherheitsmechanismen, um mithilfe einer starken Kryptografie die gegenseitige Authentifizierung zwischen industriellen 5G-Routern und 5G-Netzen sowie die anschließende Verschlüsselung der Funkkommunikation zu gewährleisten.

### Die nächsten Schritte

Wie oben beschrieben, ist die am Markt verfügbare mobile 5G-Breitbandtechnologie für den industriellen Einsatz, insbesondere in zeitkritischen Anwendungen, nur eingeschränkt geeignet. ABB und Ericsson ist es jedoch gelungen, diese Einschränkungen in konvergenten IT/OT-Netzen zu beseitigen – durch Optimierung der Leistungsfähigkeit, um die Nutzung von 5G für Prozessregelungen mit Zykluszeiten von 250 ms zu ermöglichen, durch Realisierung eines sicheren und einfachen Betriebs des 5G-Netzes aus dem Automatisierungssystem heraus, sodass keine besondere Mobilfunkexpertise oder die Unterstützung eines Netzbetreibers erforderlich ist, und durch Bestimmung von Best Practices für die Auswahl und Konfiguration der Kommunikationsgeräte. Die Nutzung lokaler industrieller Frequenzbänder (sofern verfügbar) bietet Anlagenbetreibern dabei die Möglichkeit, sich gegen eine geringe Gebühr die alleinige Kontrolle über diese kritische Ressource zu sichern.

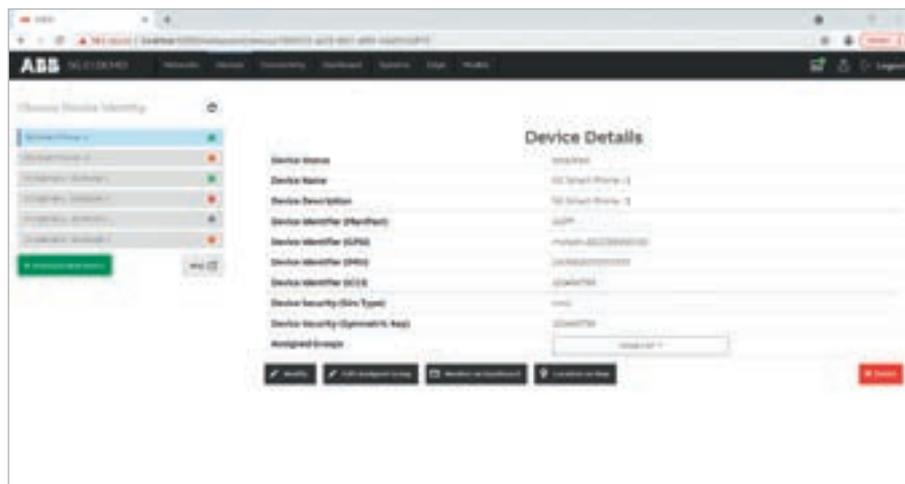
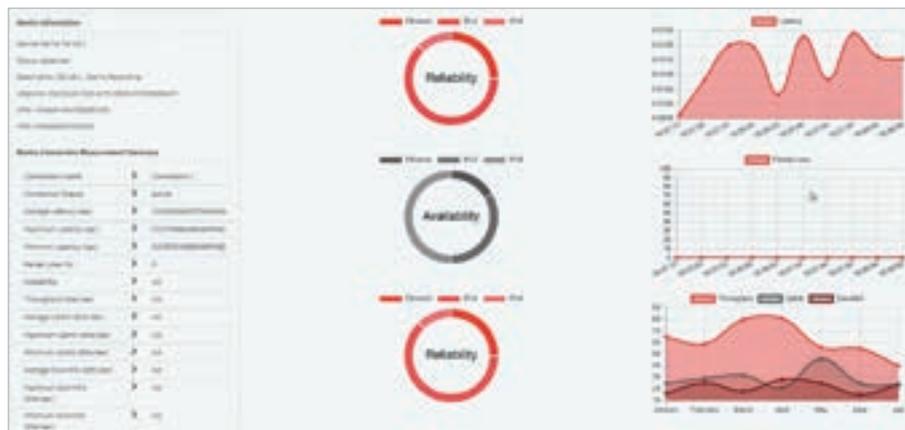
Während die aus der gemeinsamen technologischen Entwicklungsarbeit gewonnenen Erkenntnisse vom Labor auf die nächste Generation von Produkten übertragen werden und in die Standardisierungsinitiativen der 3GPP und 5G-ACIA einfließen, ist 5G generell bereit für den Einsatz in Pilotversuchen oder FEED-Studien (Front-End Engineering Design) in realen Prozessumgebungen. Neben Regelungs- und Asset-Management-Aufgaben können auch Funktionen für die Belange mobiler Mitarbeiter und für mobiles Equipment in einem 5G-Netz zusammengeführt werden. •

### Danksagung

Der Autor bedankt sich bei den Kollegen aus der F&E von Ericsson sowie bei ehemaligen ABB-Mitarbeitern für ihre wertvollen Beiträge.

—  
06 Beispiel einer typischen Zykluszeit für eine Basisregelung in der Prozessautomatisierung (\* ABB Select I/O mit 128 Kanälen, acht Universal-I/Os mit je 16 Kanälen).

—  
07 Proof-of-Concept mit Edgenius-gestützter Orchestrierung des 5G-Netzes. Als Nutzerschnittstelle für die 5G-Integration dient ein Dashboard, das auf ABB Ability aufsetzt.

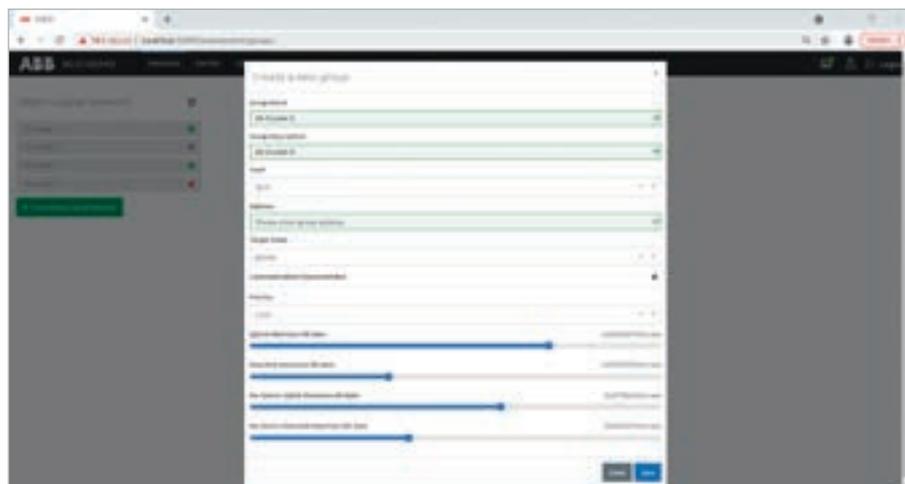


**Literaturhinweise**

[1] D. Schulz: „5G für digitale Industrien“. *ABB Review* 1/2020, S. 30–36.

[2] 5G-ACIA: „Exposure of 5G Capabilities for Connected Industries and Automation Applications“. 5G-ACIA Whitepaper, Februar 2021. Verfügbar unter: [https://5gacia.org/wp-content/uploads/WP\\_039\\_Network-Exposure-Interface.pdf](https://5gacia.org/wp-content/uploads/WP_039_Network-Exposure-Interface.pdf) (abgerufen am 12.07.2022).

[3] Bundesnetzagentur: „5G spectrum fees for local usages“. Verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/EN/2019/20191031\\_LokalesBreitband.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/EN/2019/20191031_LokalesBreitband.html) (abgerufen am 12.07.2022).



OPC UA FÜR EINE SICHERE INDUSTRIELLE KOMMUNIKATION

# Sicheres Onboarding

Cybersicherheit spielt bei der Integration von Geräten in Automatisierungssysteme im Rahmen der digitalen Transformation der industriellen Produktion eine immer wichtigere Rolle. Wie können die integrierten Sicherheitsfunktionen von OPC Unified Architecture (UA) das sichere Onboarding von industriellen Geräten unterstützen?



01

—  
**Sören Finster**  
**Florian Kohnhäuser**  
**Thomas Gamer**  
 ABB Corporate Research  
 Ladenburg, Deutschland

soeren.finster@  
 de.abb.com  
 florian.kohnhaeuser@  
 de.abb.com  
 thomas.gamer@  
 de.abb.com

**Frank Fengler**  
**Ragnar Schierholz**  
 ABB Process Automation  
 Minden, Deutschland

frank.fengler@  
 de.abb.com  
 ragnar.schierholz@  
 de.abb.com

**Tilo Merlin**  
 ABB Process Automation  
 Frankfurt, Deutschland  
 tilo.merlin@de.abb.com

Die mit der rasch voranschreitenden Digitalisierung der Industrie einhergehende größere Autonomie von Sensoren und Aktoren verspricht neben einer höheren Produktivität geringere Kosten und einen niedrigeren Energiebedarf, bessere und sichere Arbeitsbedingungen sowie eine höhere Nachhaltigkeit [1,2]. Doch die digitale Transformation bringt auch Herausforderungen mit sich – zum Beispiel die der Interoperabilität, für die weltweite Standards für Konnektivität, Schnittstellen, Informationsmodelle, Semantik und Cybersicherheit erforderlich sind. OPC UA entwickelt sich zunehmend zu einer der Kerntechnologien, die dabei helfen, diese Interoperabilität auf sichere Weise zu gewährleisten →01.

Dazu kombiniert OPC UA Ethernet-Konnektivität, Datenmodellierung, Semantik und Sicherheit [3]. Die (optionale) Verschlüsselung der Kommunikation bei OPC UA kommt ins Spiel, sobald ein neues Gerät in ein System integriert wird – auch wenn in den meisten Fällen als Voraussetzung für eine sichere Kommunikation vorher bestimmte kryptografische Schlüssel an die teilnehmenden Geräte verteilt werden müssen →02. Jedoch werden die Cybersicherheitsfunktionen von OPC UA aufgrund ihrer Komplexität und der „sperrigen“ Handhabung häufig ignoriert.

## Sicheres Onboarding und OPC 10000-21

Während Ethernet in der Prozessindustrie bislang vorwiegend dazu genutzt wurde, Bedienstationen, Engineering-Stationen und Controller in einer

wohlkontrollierten und geschützten Umgebung miteinander zu verbinden, findet es mittlerweile auch im Produktionsbereich, in Sensor- und Aktornetzwerken und – dank APL – selbst im Ex-Bereich der Prozessindustrie Anwendung. Dies erfordert eine sichere Kommunikation mit vertrauenswürdigen Identitäten für alle Geräte, ganz gleich ob für die Prozesssteuerung, Wartung oder den Betrieb.

In einem solchen Szenario stellt das sogenannte Onboarding – d. h. das Einbinden und die Inbetriebnahme eines neuen Geräts in einem System – eine kritische Phase im Lebenszyklus eines Geräts dar, weil dabei erste Beziehungen hergestellt werden, die anschließend als vertrauenswürdig gelten. Das

—  
 Das Onboarding stellt eine kritische Phase im Lebenszyklus eines Geräts dar.

Vertrauen in diese Beziehungen und die dazugehörigen kryptografischen Schlüssel kann jedoch nur so stark sein wie die Sicherheit des Onboarding-Prozesses, der sie integriert. Da bei einem sicheren Onboarding böartige oder fehlerhafte Akteure ausgeschlossen werden müssen, stellen die sichere Geräteidentifizierung und -authentifizierung wichtige erste Schritte dar. Anschließend wird das neue Gerät für die gewünschte Applikation



— Die zunehmende Digitalisierung in der Industrie bringt Herausforderungen in puncto Cybersicherheit mit sich. OPC UA bietet entsprechende Lösungen.

parametriert. Dazu gehört auch das Konfigurieren von Sicherheitsparametern – z. B. eines Gerätezertifikats und passenden kryptografischen Schlüsseln – und die Gewährleistung, dass sich das Gerät nur mit legitimen Netzen verbindet.

Alles in allem lassen sich die Hauptherausforderungen beim Onboarding von Geräten wie folgt zusammenfassen:

- Identität und Authentifizierung: Versehen des Geräts mit einer global verifizierbaren Identität, um sicherzustellen, dass sich nur legitime Geräte mit dem System eines Betreibers verbinden können.
- Verteilung des ersten Schlüssels: Bereitstellen der erforderlichen Sicherheitsinformationen (Credentials), -konfigurationen und vertrauenswürdigen Beziehungen für das Gerät, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.
- Lebenszyklussicherheit: Verwalten der Sicherheitsinformationen und -konfigurationen über die Lebensdauer eines Geräts einschließlich Updates, Upgrades, Aufhebungen usw.

Die vielversprechendste Standardisierungsinitiative für ein sicheres Onboarding von Geräten in industriellen Automatisierungssystemen ist OPC 10000-21 [4]. Diese Spezifikation ermöglicht ein sicheres und automatisiertes Onboarding von OPC UA-Geräten durch eine vollständige Authentifizierung von Geräten gegenüber dem Betreibernetz auf der Grundlage einer eindeutigen Geräteidentität →02.

### Hersteller bescheinigen die Authentizität

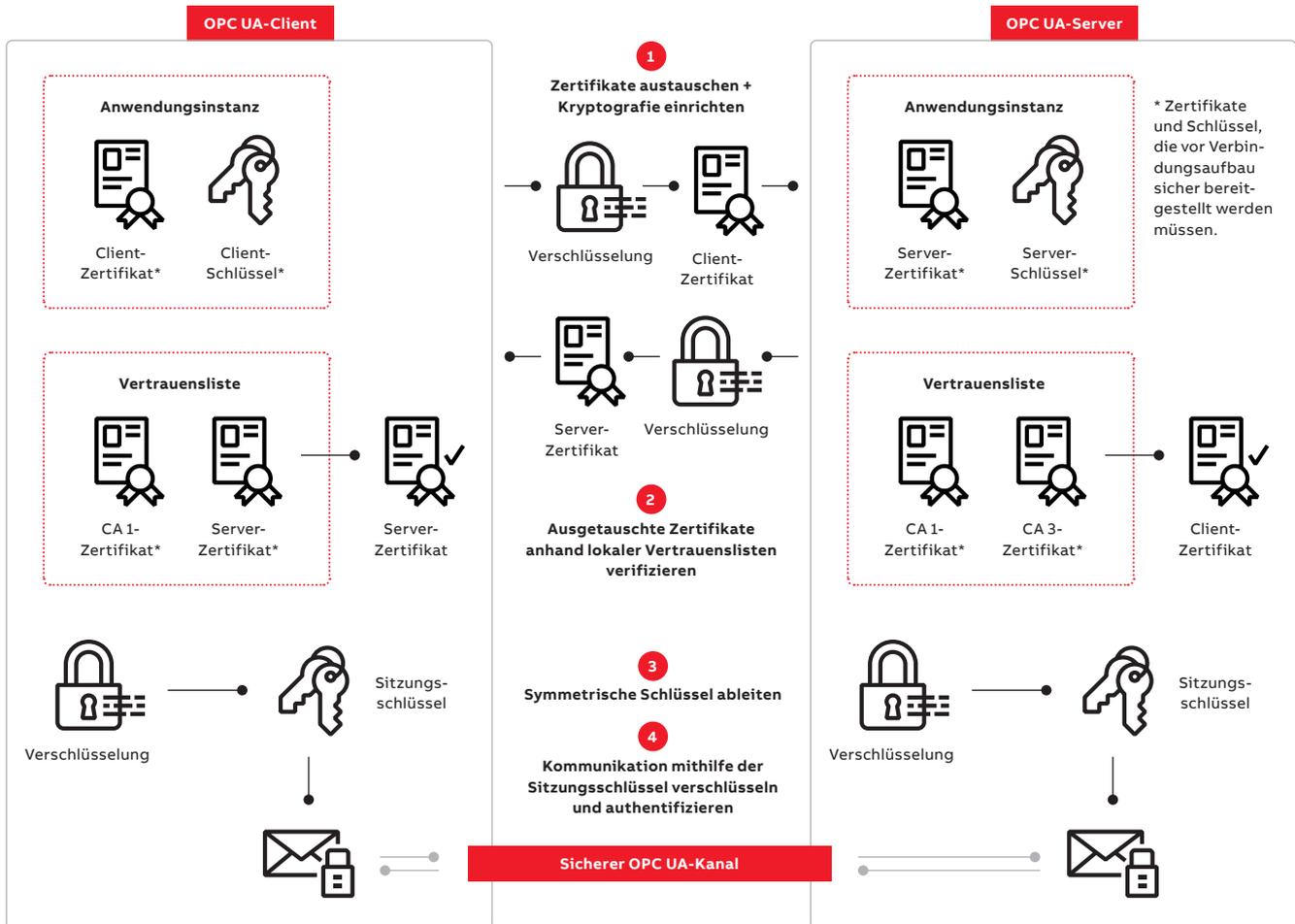
Bei ihrer Fertigung werden OPC UA-kompatible Geräte mit einem gerätespezifischen, eindeutigen asymmetrischen Schlüsselpaar und einem von der Zertifizierungsstelle (Certification Authority, CA) des Herstellers signierten IDevID-Zertifikat (Initial Device Identity) gemäß IEEE 802.1AR [5] ausgestattet →03. Mithilfe des Zertifikats kann eine erste Authentizitätsprüfung der Geräteidentität durchgeführt werden. Durch anschließende Überprüfung, ob das betreffende Gerät den entsprechenden privaten Schlüssel besitzt, kann es sicher identifiziert und authentifiziert werden.

Das Vertrauen in diesen Vorgang fußt auf der Integrität der CA des Herstellers. Dieses Zertifikat muss auf eine sichere Weise empfangen werden, z. B. per Download von der sicheren Internetpräsenz des Herstellers oder über einen in OPC 10000-21 spezifizierten Ticketing-Mechanismus.

Ein IDevID-Zertifikat ist statisch und somit nicht auf den Kunden, der das betreffende Gerät gekauft hat, zugeschnitten. Das heißt, es kann keine Informationen enthalten, die erst bei der Inbetriebnahme zur Verfügung stehen, wie etwa IP-Adresse oder Hostname. Während bei OPC UA für einen funktionstüchtigen Zustand erwartet wird, dass diese nutzungsspezifischen Informationen in Zertifikaten vorhanden und korrekt sind, können diese Prüfungen gemäß OPC 10000-21 beim automatisierten sicheren Onboarding von Geräten mithilfe von statischen IDevID-Zertifikaten entfallen. Doch auch ohne diese Prüfungen bietet dieser erste Schritt der sicheren Geräteidentifizierung einen erheblichen Nutzen und eröffnet neue Möglichkeiten.

### Lösungskonzept für ein sicheres Onboarding mit OPC UA

Der oben beschriebene Onboarding-Prozess, der einen zentralen Aspekt von OPC 10000-21 darstellt, ist mit einigen Anforderungen an die Infrastruktur verbunden. So müssen Hersteller ihren Fertigungsprozess so anpassen, dass die Erzeugung eindeutiger Credentials für die Geräte (für gewöhnlich auf dem betreffenden Gerät selbst) und die anschließende Signatur durch die CA als erster Schritt ermöglicht wird. Der Referenzstandard für Identitäten, IEEE 802.1AR, verlangt die Speicherung von Schlüsselmaterial in einem sogenannten Hardware-Sicherheitsmodul (HSM), um den Missbrauch privater Schlüssel zu verhindern und die kryptografischen Berechnungen auf Geräten mit beschränkten Ressourcen zu erleichtern. Die Verwendung einer „ProductInstanceURI“ [6], einer vom Hersteller erstellten, global eindeutigen Geräteidentifikation nach IEC 61406, einer Norm, die sich mit der automatischen Identifizierung physischer Objekte befasst und dafür den Identification Link (QR-Code) bzw. Identifica-



02

tion Link String (Inhalt des QR-Codes) im Feld SubjectAltName der IDevID nutzt, ermöglicht zusätzlich die Verlinkung zu einem Gerät.

In der Praxis bedeutet dies, dass das Gerät ein HSM beinhaltet, das bei der Fertigung verwendet wird, um einen öffentlichen und einen privaten Schlüssel für die Geräteidentität zu erzeugen. Anschließend generiert das Gerät eine Zertifikatsignierungsanforderung (Certificate Signing Request, CSR), die über die Fabrikinfrastruktur an die CA des Herstellers übermittelt wird. Dabei ist die ProductInstanceURI mit der Anforderung verbunden. Die CA des Herstellers stellt das IDevID-Zertifikat aus und antwortet mit dem Zertifikat auf die CSR. Das Gerät empfängt die Antwort über die Fabrikinfrastruktur und installiert das Zertifikat in seinem Speicher.

In einem zweiten Schritt wird innerhalb der Infrastruktur des Herstellers ein Ticket mit Metadaten des Geräts erstellt und signiert. Dieses Ticket enthält den Vertrauensanker, ein öffentlicher Schlüssel, dessen Vertrauenswürdigkeit bekannt und nicht abgeleitet ist und der zur Validierung des IDevID-Zertifikats benötigt wird. Am Ende wird das Ticket im Gerät gespeichert und kann dem Käufer zudem über einen Out-of-Band-Kanal übermittelt werden.

Es wird noch etwas dauern, bis die OPC 10000-21 vollständig umgesetzt und in weiten Teilen der

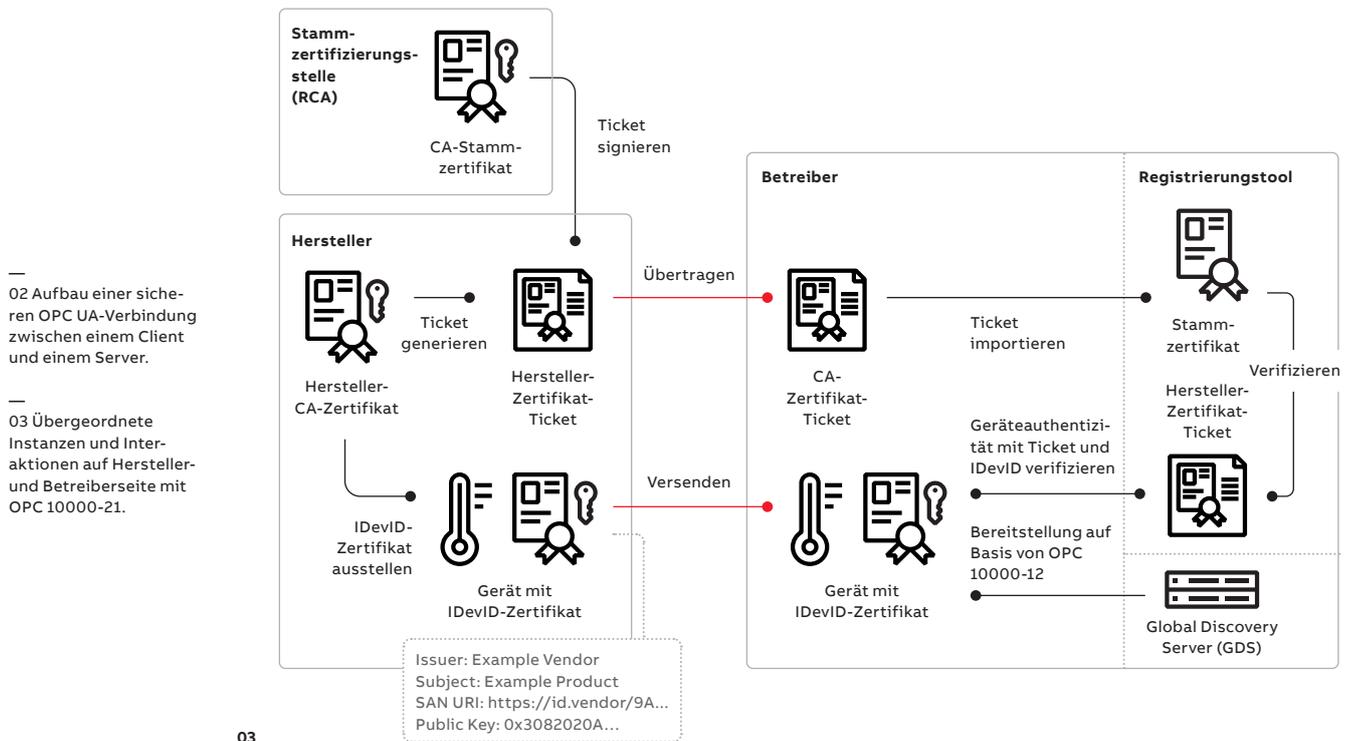
Industrie verfügbar ist, doch dieser erste Schritt zur sicheren Geräteidentifikation eröffnet bereits jetzt neue Möglichkeiten und zeigt, dass die OPC 10000-21 schrittweise umgesetzt werden kann, wobei zukünftige Generationen und weitere Sicherheitsverbesserungen durch Softwareupgrades zu einem späteren Zeitpunkt implementiert werden können.

#### Quick Wins von sicheren Geräteidentitäten

Die Voraussetzung für einen schnellen Mehrwert („Quick Win“) ist, dass das IDevID-Zertifikat eines Geräts durch den Betreiber verifiziert werden kann, um sicherzustellen, dass es sich um ein Originalgerät des Herstellers handelt.

Zur Verifizierung der IDevID benötigt der Betreiber das CA-Zertifikat des Herstellers, mit dem die IDevID signiert wurde. Hier können OPC 10000-21-Tickets verwendet werden, um das Zertifikat vom Hersteller an den Betreiber zu übermitteln, oder es kann in einer vom Betreiber genutzten Software oder Hardware vorinstalliert werden. Auf diese Weise können IDevIDs bereits einen Sicherheitsnutzen bieten, ohne dass eine vollständige Umsetzung der OPC 10000-21 erforderlich ist.

Darüber hinaus ist jede IDevID mit der vom Hersteller bereitgestellten ProductInstanceURI des



03

Geräts verbunden. Eine ProductInstanceURI verweist typischerweise auf eine global verfügbare Ressource wie etwa eine Website mit zusätzlichen Informationen zum Gerät. So können diese Informationen verwendet werden, um eine Authentifizierung mithilfe des Backends des Herstellers zu ermöglichen und um zusätzliche Lebenszyklusinformationen zum Gerät abzurufen, was wiederum einige neue, vertrauenswürdige Funktionen ermöglicht, z. B.:

- Zugriff auf zuverlässige Produktinformationen ohne Suche nach dem genauen Gerätetyp oder Nummern, da typ- und instanzspezifische Informationen aus den Authentifizierungsinformationen entnommen werden können. Beispiele für solche Produktinformationen sind vorwiegend statische Daten wie Gerätebeschreibungen, Spezifikationen, Handbücher, Produktionsdaten, Herstellerdienste oder CO<sub>2</sub>-Bilanzen.
- Zugriff auf Teilmodelle in Form von digitalen Zwillingen, die authentische, korrekte und zuverlässige Gerätedaten wie etwa Laufzeitdaten bereitstellen können. Ein solcher Zugang verhindert manuelle Fehler beim Übertragen von Daten zwischen Systemen und kann bei der Erfüllung von Dokumentations- oder Audit-Trail-Pflichten helfen.
- Einfache und flexible Aktivierung von Gerätefunktionen, da das Gerät in der Lage ist, Anforderungen direkt zu autorisieren bzw. Serviceleistungen z. B. über Clouddienste des Herstellers zu aktivieren.
- Automatisierung von Software-Updates, einschließlich Firmware-Updates zum Zweck der Sicherheit und des Investitionsschutzes im Bereich der Automatisierung.

### OPC UA entwickelt sich weiter

Mit seinen integrierten Sicherheitsmerkmalen trägt OPC UA zur Gesamtsicherheit der digitalen Transformation, insbesondere beim Onboarding von Geräten in Automatisierungssysteme, bei. Während die OPC UA-Sicherheitsfunktionen die vollständige Authentifizierung von Geräten gegenüber dem Betreibernetzwerk beinhalten, ist die Unterstützung einer Authentifizierung des Betreibernetzwerks gegenüber Geräten in der aktuellen Version der OPC 10000-21 nicht implementiert. Die Hauptherausforderung liegt hier in der Tatsache, dass die Vertrauensanker des Kunden bei der Herstellung des Geräts nicht verfügbar sind. Dennoch trägt das erreichbare hohe Maß an Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit erheblich zur konkreten Umsetzung von Sicherheit im Automatisierungssystem bei. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass zukünftige Erweiterungen des Protokolls interoperable Lösungen zum Ausrollen von kundenseitigen Vertrauensankern auf Geräte bei der Fertigung oder zu einem späteren Zeitpunkt vor dem Onboarding mit sich bringen werden.

Sichere Geräteidentitäten und die Standardisierung eines sicheren und automatisierten Onboardings von Geräten ermöglichen neue, vertrauenswürdige Funktionen. Dies liefert die Grundlage für Lösungen mit benutzerfreundlicher und automatisierbarer Sicherheit, die ABB-Kunden für ihren Weg durch eine anspruchsvolle und sich stetig weiterentwickelnde Sicherheitslandschaft rüsten. •

### Literaturhinweise

[1] T. Gamer et al.: „The Autonomous Industrial Plant – Future of Process Engineering, Operations and Maintenance“. *Journal of Process Control*, Vol. 88 (2020), S. 101–110.

[2] ABB: „Billions of better decisions“. Studienbericht (2022). Verfügbar unter: <https://stories.ability.abb.com/better-decisions/introduction/> (abgerufen am 01.09.2022).

[3] M. Kiener: „OPC UA“. *ABB Review* 1/2023, S. 80–81.

[4] OPC Foundation: „OPC 10000-21 Device Onboarding, Release Candidate 1.05.02 RC1, 2022-07-1“.

[5] IEEE: „802.1AR: Secure Device Identity“. Standard, Revision 2018. Verfügbar unter: <https://1.ieee802.org/security/802-1ar/> (abgerufen am 01.09.2022).

[6] OPC Foundation: „OPC 10000-100 Devices – Section 5.5.2 VendorNameplate Interface“. Release 1.02.02 (2020).

## DIGITALISIERUNG UND NACHHALTIGKEIT

# Perfekter Kreislauf

ABB hat es sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 für 80 % ihrer Produkte und Lösungen einen lebenszyklusübergreifenden zirkulären Ansatz im Sinne der Kreislaufwirtschaft umzusetzen. Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, müssen alle relevanten Produktdaten über den gesamten Lebenszyklus zur Verfügung stehen. Digitalisierung ist der Schlüssel, der den Zugang zu dieser riesigen Menge von Daten ermöglicht.



01

—  
**Sten Grüner**  
**Thomas Gamer**  
**Ralf Gitzel**  
**Jan-Christoph Schlake**  
**Marco Ulrich**  
 ABB Corporate Research  
 Ladenburg, Deutschland

sten.gruener@  
 de.abb.com  
 thomas.gamer@  
 de.abb.com  
 ralf.gitzel@de.abb.com  
 jan-christoph.schlake@  
 de.abb.com  
 marco.ulrich@  
 de.abb.com

**Kai Garrels**  
 ABB Electrification  
 Heidelberg, Deutschland

kai.garrels@de.abb.com

Nachhaltigkeit spielt bei ABB eine zentrale Rolle. Im Einklang mit den Zielen der UN für eine nachhaltige Entwicklung hat sich ABB das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 für 80 % ihrer Produkte und Lösungen einen zirkulären Ansatz umzusetzen, der den gesamten Lebenszyklus umfasst.

Das Konzept der Kreislaufwirtschaft basiert auf einem autarken System, bei dem Produkte zunächst normal verwendet werden. Wenn sie nicht mehr benötigt werden oder nicht mehr funktionieren, werden sie repariert oder anderweitig wiederverwendet. Am Ende ihres Lebenszyklus werden sie zerlegt und ihre Komponenten und Rohstoffe zur Herstellung neuer Produkte genutzt →01. Eine solche Kreislaufwirtschaft bietet nicht nur Vorteile für die Umwelt, sondern fördert auch die Wettbewerbsfähigkeit und wirtschaftliche Resilienz. Der zirkuläre Ansatz von ABB umfasst die gesamte Lebensdauer eines Produkts sowohl aus der Sicht von ABB als auch des Kunden.

Um das ehrgeizige Ziel von 80 % zu erreichen, müssen alle relevanten Informationen im Hinblick auf Werkstoffe, Komponenten und Prozesse über den gesamten Lebenszyklus des Produkts transparent, verfolgbar und leicht zugänglich

—  
 Eine Kreislaufwirtschaft bietet nicht nur Umweltvorteile, sondern fördert auch die Wettbewerbsfähigkeit.

sein. Hersteller müssen z. B. verstehen, welche Umweltkosten ihr Produkt über die Lebensdauer hinweg verursacht, während Anlagenbetreiber den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und das Optimierungspotenzial ihres Betriebs kennen müssen. Leider stehen solche Informationen häufig nicht zur Verfügung, da ihre Bestimmung enorm aufwändig ist.



01 Die Kreislaufwirtschaft basiert auf der Wiederverwendung von Ressourcen und gefertigten Komponenten und erfordert umfangreiche Daten zu Produkten über deren gesamten Lebenszyklus hinweg. Das Bild zeigt eine Darstellung zukünftiger Industrieanlagen unter Verwendung der ABB Mission to Zero™ Produkt- und Lösungspakete.

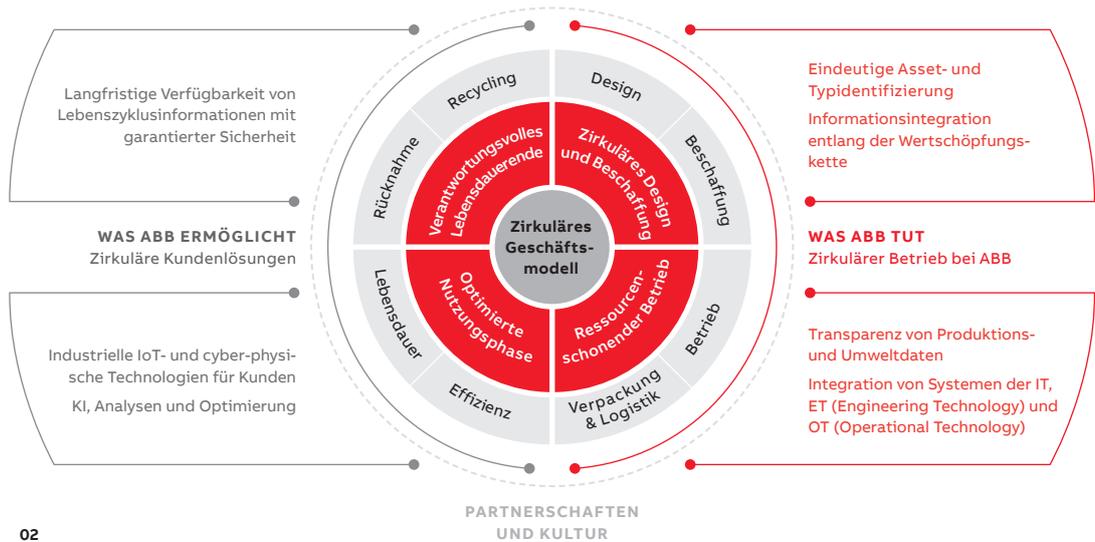
Der Schlüssel, der diese großen Datenmengen handhabbar, zugänglich und nutzbar macht, ist die Digitalisierung [1]. Das folgende Beispiel beschreibt drei Vorhaben von ABB, die sich auf verschiedene Bereiche des ABB-Zirkularitätskonzepts beziehen, und zeigt, welche Rolle die Digitalisierung dabei spielt.

#### **Verfügbarkeit von Daten zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck**

Der zirkuläre Ansatz von ABB umfasst sowohl die Aspekte Lösungsdesign und Werkstoffe, Beschaffung, Betrieb, Logistik und Abfallvermeidung aus der Sicht von ABB als auch die Optimierung der Effizienz und Lebensdauer sowie die Verarbeitung am Lebensdauerende aus der Sicht des Kunden [2] →02. Ein solches System erfordert umfassende Informationen über den ökologischen Fußabdruck eines Produkts, z. B. in Form seines CO<sub>2</sub>-Äquivalents. Diese Art von Informationen sind Gegenstand einer laufenden Initiative der Europäischen Kommission zur Einführung eines digitalen Produktpasses (DPP).

Das System benötigt umfassende Informationen über den ökologischen Fußabdruck eines Produkts.

Eine weitere Orientierungshilfe bietet die ISO 14067 aus der Normenreihe ISO 14060, die sich mit der Quantifizierung, Überwachung, Berichterstattung und Validierung von Treibhausgasemissionen befasst. Die ISO 14067 definiert den sogenannten Carbon Footprint eines Produkts (PCF) als Summe der emittierten und entzogenen Treibhausgasemissionen über seinen Lebenszyklus hinweg, angegeben als CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Beinhaltet der PCF das CO<sub>2</sub>-Äquivalent der Komponenten, der Produktion und der Intralogistik, wird dies auch als „Cradle-to-Gate“ (von der Wiege bis zum Werkstor) bezeichnet. Ein „Cradle-to-Grave“-PCF (von der Wiege bis zum Grab) beinhaltet zusätzlich den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck



02

des weiteren Produktlebenswegs einschließlich des Transports zum Einsatzort, der Installation, der Nutzung und der Ereignisse am Lebensdauerende.

Eine Initiative des ZVEI in Deutschland [3], an der auch ABB beteiligt ist, zeigt, wie Informationen zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck mithilfe offener Standards und Industrie 4.0-Technologien zwischen Unternehmen ausgetauscht und zu einem PCF-Wert für ein komplexes Produkt zusammengeführt werden können. Als Demonstrator wurde dazu ein Schaltschrank mit Komponenten von 14 Herstellern ausgestattet.

### Der Schaltschrank enthält Komponenten, die Industrie 4.0-Standards umsetzen.

Zusätzlich werden Industrie 4.0-Standards wie die QR-Code-basierte Identifizierung von Komponenten und das Abrufen des PCF jeder Komponente über eine sogenannte Verwaltungsschale (Asset Administration Shell, AAS) umgesetzt →03. Eine AAS ist eine technologie- und herstellernerneutrale, interoperable Umsetzung eines industriellen digitalen Zwillings, die den gesamten Lebenszyklus eines Assets umfasst [4]. Ein digitaler Zwilling wiederum ist ein digitales Abbild eines physischen Assets (in diesem Fall der Schaltschrankkomponente), das industrielle Anwendungen durch die Bereitstellung von Daten, Modellen und Services rund um das Asset ermöglicht.

Durch den Zugang zum digitalen Zwilling jedes Assets und zum digitalen Zwilling des Schaltschranks, der die Komponententopologie beinhaltet, sind Analyseanwendungen in der

Lage, einen korrekten Cradle-to-Gate-PCF-Wert für den Schaltschrank auf Basis der bekannten PCFs seiner Komponenten zu ermitteln.

### Optimierung des Materialflusses

An der Bergbauindustrie lässt sich hervorragend zeigen, wie die Digitalisierung und digitale Zwillinge zur Verbesserung der Nachhaltigkeit beitragen können. Der Bergbau verursacht zwischen 4 und 7 % der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen [5] und ist für rund 6 % des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich [6]. Auch wenn sich dies aller Voraussicht nach nicht so schnell ändern wird, haben sich einige Hauptakteure das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 die CO<sub>2</sub>-Neutralität zu erreichen. Hierfür ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Optimierung des Energieverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von der Grube bis zum Verladehafen erforderlich. Das ABB-Forschungskonzept Material Flow Digital Twin (MFDT) hilft dabei, die notwendige Transparenz zur Verfolgung des kontinuierlichen Materialflusses zu gewährleisten. Ein MFDT besteht aus einem Informations-Metamodell auf der Basis internationaler Standards, einem diskreten Ereignissimulator, einer Modellbibliothek und Analysemodulen, die die Berechnung von Online-Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) wie dem spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoß oder dem spezifischen Energieverbrauch pro geförderter Tonne ermöglichen.

Die vom MFDT bereitgestellten Materialflussinformationen können wiederum in aktivitätsbasierte Analysen nach Richtlinien des Weltklimarats IPCC (International Panel on Climate Change) einfließen →04. Beides zusammen liefert einen Online-Überblick über die gesamte Wertschöpfungskette und die damit verbundenen Emissionen. Digitale MFDT-Technologien wie Zustandsschätzung, Quantifizierung der Unsicherheit, Was-wäre-wenn-

—  
02 Der zirkuläre Ansatz von ABB mit Schlüsseltechnologien für die Digitalisierung.

—  
03 Der auf der Hannover Messe 2022 vorgestellte Schaltschrank demonstriert den Abruf und die Zusammenführung von PCF-Informationen zu Komponenten von 14 Herstellern mithilfe eines digitalen Zwillings.

Analysen und Flussoptimierung helfen dabei, strategische Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen in Bergbauprozessen zu identifizieren.

#### ABBs „Mission to Zero“

Digitalisierung und digitale Zwillinge sind zentrale Elemente der „Mission to Zero“ von ABB, einem Konzept für ein CO<sub>2</sub>-neutrales und energieautarkes Ökosystem für Industriebetriebe, Wohngebäude und Städte [7]. Die Transparenz von IoT-Daten (Internet of Things) aus Produktion, Energieversorgung und Gebäuden ist eine Voraussetzung für einen ressourcenschonenderen Betrieb und die Erfüllung der Ziele von „Mission to Zero“. Erreicht wird eine sol-

—  
**Eine eindeutige Asset-Identifizierung kann per QR-Code oder NFC-Tag verknüpft werden.**

che Transparenz durch die Erfassung von IoT-Daten von allen beteiligten Einheiten und die digitale Integration der physischen Einheiten wie Ladestationen für Elektrofahrzeuge, Solarpanels oder Gebäudeautomatisierungssysteme, um eine ganzheitliche Interoperabilität und Optimierung zu ermöglichen.

Eine Installation am Standort der ABB-Tochter Busch-Jaeger in Lüdenscheid zeigt, wie die Energiewende und Nachhaltigkeit mithilfe von IoT-Daten und digitalem Energiemanagement vorangetrieben werden können. Mithilfe der instal-

lierten Technik, zu der eine Solaranlage mit einer Leistung von 1.100 MWh/Jahr und ein skalierbares ABB OPTIMAX®-Energiemanagementsystem gehören, kann an sonnigen Tagen der gesamte Strombedarf des Standorts gedeckt und so der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 630 t im Jahr gesenkt werden.

#### Anforderungen und Industrie 4.0-Technologien

Aus den oben beschriebenen Anwendungsfällen ergeben sich zwei zentrale Voraussetzungen für eine digitale Lösung für ein lebenszyklusbasiertes Nachhaltigkeitskonzept:

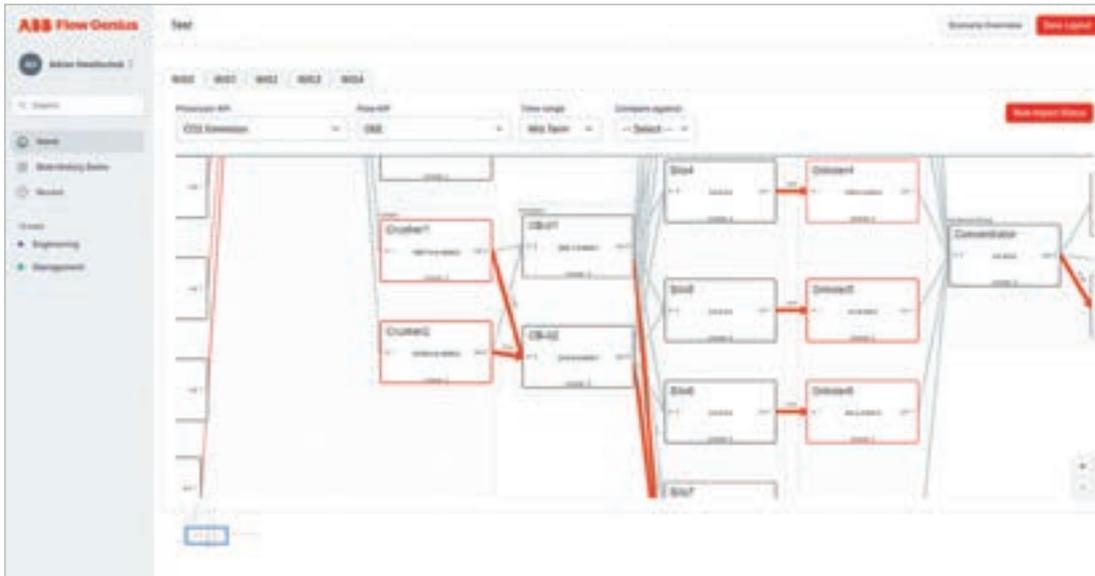
- Asset-Lebenszyklusinformationen müssen während des Lebenszyklus im digitalen Zwilling gesammelt werden.
- Die IT-Infrastruktur muss in der Lage sein, die Daten des digitalen Zwillings zu speichern, bereitzustellen und zu vernetzen.

Aus diesen Voraussetzungen und den vorgeschlagenen Industrie 4.0-Technologielösungen lassen sich weitere allgemeine Anforderungen bezüglich der Lebenszyklusinformationen ableiten:

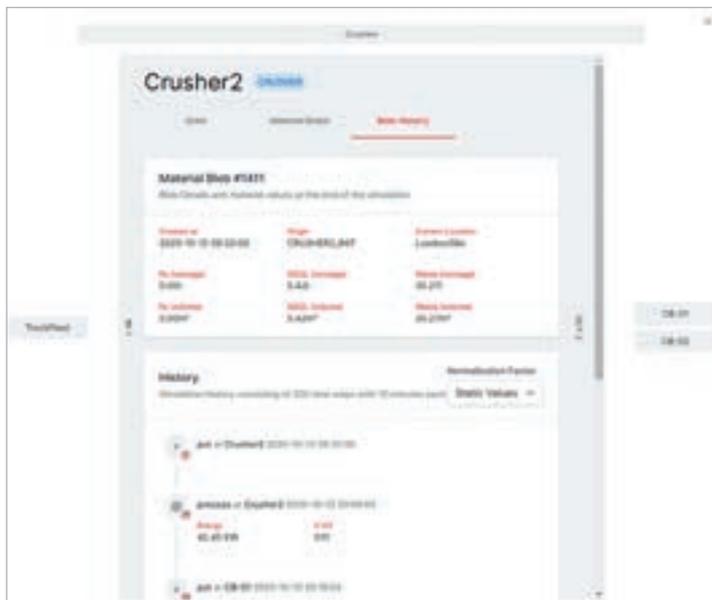
- eindeutige Identifikation eines Assets
- Wissen über Art und Aufbau des Assets sowie andere semantisch angereicherte Informationen
- Versionierung von Änderungen mit direktem Bezug zu einem Asset über den Lebenszyklus hinweg
- Migration und Rückwärtskompatibilität von Updates des Industrie 4.0-Ökosystems, z. B. des Informations-Metamodells

Damit die Infrastruktur in der Lage ist, digitale Zwillinge zu speichern, bereitzustellen und zu vernetzen, müssen folgende Aspekte erfüllt sein:





04a



04b

(der QR-Code oder das NFC-Tag ist physisch am Asset befestigt) und seinem digitalen Abbild.

Im Hinblick auf die Speicherung und den Abruf von Informationen über die Art und den Aufbau eines Assets treiben die Plattform Industrie 4.0 (ein Netzwerk von Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen zur Förderung der Industrie 4.0 und der digitalen Transformation

—  
Digitale Zwillinge können dabei helfen, Umweltgesetze und Nachhaltigkeitsvorschriften zu erfüllen.

- Interoperabilität aller beteiligten Instanzen wie z. B. IT-, OT- und ET-Systeme verschiedener Unternehmen
- Verbindungen zwischen physischen Objekten und digitalen Abbildern, z. B. mithilfe von industriellen IoT- und cyber-physischen Systemen (CPS)
- lebenslange Verfügbarkeit der Informationen durch Langzeitspeicherung
- Unveränderlichkeit und Konsistenz der Informationen

Technologien, die diese Anforderungen zum Teil erfüllen, gibt es bereits. So kann z. B. eine eindeutige Asset-Identifizierung wie in der IEC 61406-1 beschrieben über einen herstellerunabhängigen „Identifizierungslink“ per QR-Code oder NFC-Tag verknüpft werden. Ein solcher Link ermöglicht sowohl eine stabile Identifizierung als auch eine Verbindung zwischen dem physischen Objekt

[8]) und die Industrial Digital Twin Association (IDTA) [9] die Standardisierung der AAS als generisches Konzept des digitalen Zwillings voran; eine internationale Standardisierung erfolgt als Normenreihe IEC 63278-x.

Die sichere Verbindung eines physischen Objekts mit seinem digitalen Abbild – z. B. durch industrielle Feldbusse, Ethernet-basierte industrielle IoT-Technologien oder interoperable Technologien wie OPC UA – wird für den Nutzer durch Anbindung an eine AAS transparent. Interoperabilität wird durch Integration herstellereispezifischer Modelle wie dem ABB Ability Information Model in herstellerunabhängige und standardisierte AAS- oder OPC UA-Informationsmodelle erreicht. Darüber hinaus bieten digitale Konzepte wie die AAS eine einfache Möglichkeit, um z. B. digitale Zwillinge in Simulationen in einem CPS einzubinden. Und schließlich können Analysen und Optimierungen auf der Basis maschineller

—  
04 Die MFDT-basierte Materialverfolgung ermöglicht die Berechnung des spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes pro produzierter Tonne in Industrien mit kontinuierlicher Produktion.

04a Eine Dashboard-Studie zeigt Abweichungen vom Durchschnitt an.

04b Eine Drill-Down-Funktionalität ermöglicht die Auswertung spezifischer Materialeinheiten



05

—  
05 Der Fortschritt in eine gesündere und florierende Welt steht im Mittelpunkt des Bestrebens von ABB um eine nachhaltige Entwicklung.

Lernverfahren (ML) oder künstlicher Intelligenz (KI) dabei helfen, die über digitale Zwillinge und digitale Infrastrukturen zugänglichen großen Datenmengen nutzbringend einzusetzen. Die damit verbundenen, noch nicht behandelten Anforderungen sind Gegenstand laufender Forschungs- und Standardisierungsarbeiten.

Digitale Zwillinge können zudem äußerst nützlich sein, wenn es darum geht, Anforderungen im Hinblick auf Umweltgesetze und Nachhaltigkeitsvorschriften zu erfüllen – schließlich ist die Kreislaufwirtschaft nur möglich, wenn Produkte fachgerecht ohne Materialverluste oder die Freisetzung von Gefahrstoffen wiederaufbereitet werden können.

Viele Gesetze und Vorschriften – wie die RoHS- und WEEE-Richtlinien oder die REACH-Verordnung – verlangen eine bestimmte Art der Dokumentation. Diese kann mithilfe von digitalen Zwillingstechnologien und Modellen bereitgestellt werden, die an Veränderungen der Produkte bzw. des Materials über deren Lebenszyklus hinweg angepasst werden können und einen langfristigen Zugang garantieren.

—  
Für ABB bedeutet nachhaltige Entwicklung den Fortschritt in eine gesündere und florierende Welt.

#### Ein lebenszyklusübergreifender zirkulärer Ansatz

Nachhaltigkeit ist ein zentraler Bestandteil des Unternehmenszwecks von ABB und des Mehrwerts, den das Unternehmen für seine Stakeholder schafft. Für ABB bedeutet nachhaltige Entwicklung den Fortschritt in eine gesündere und florierende Welt [2] →05. Die in diesem Artikel beschriebenen Digitalisierungskonzepte und -lösungen spielen hierbei eine zentrale Rolle und werden ABB dabei helfen, bis zum Jahr 2030 für 80 % ihrer Produkte und Lösungen einen lebenszyklusübergreifenden zirkulären Ansatz zu realisieren. Darüber hinaus stehen die Möglichkeiten, die die Digitalisierung – insbesondere im Zusammenhang mit digitalen Zwillingen – bietet, nahezu jedem Unternehmen offen, um es bei der weiteren Verbesserung der Nachhaltigkeit innerhalb der eigenen Organisation und entlang seiner Wertschöpfungsketten zu unterstützen. •

#### — Literaturhinweise

[1] M. W. Hoffmann et al.: „Developing Industrial CPS: A Multi-Disciplinary Challenge“. *Sensors Journal*, 21(6), 2021.

[2] ABB: „Sustainability Report 2021: From ambition to action“. März 2022. Verfügbar unter: <https://sustainabilityreport.abb.com/2021/service-pages/downloads/files/sustainability-performance-abb-csr21.pdf> (abgerufen am 20.08.2022).

[3] Verband der Elektro- und Digitalindustrie (ZVEI): „White Paper: ZVEI-Show-Case PCF@ Control Cabinet“. 2022. Verfügbar unter: [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2022/Mai/Show-Case\\_PCF%40ControlCabin/22-05-25\\_Whitepaper\\_ZVEI-Show-Case-PCF-Control-Cabinet-HMI2022.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2022/Mai/Show-Case_PCF%40ControlCabin/22-05-25_Whitepaper_ZVEI-Show-Case-PCF-Control-Cabinet-HMI2022.pdf) (abgerufen am 20.08.2022).

[4] S. Grüner et al.: „Digitale Zwillinge von Produkten und wie man sie findet“. *ABB Review* 03/2021, S. 26–31.

[5] McKinsey & Company: „Metals & Mining and Sustainability Practices. Climate risk and decarbonization: What every mining CEO needs to know“. 2020.

[6] K. Holmberg, et al.: „A. Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry“.

*Tribology International*, Volume 115, November 2017, S. 116–139.

[7] ABB: „Mission to Zero™ – The future of electrification is safe, smart and carbon neutral“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/mission-to-zero/about> (abgerufen am 20.08.2022).

[8] <https://www.plattform-i40.de> (abgerufen am 20.08.2022).

[9] <https://industrialdigitaltwin.org> (abgerufen am 20.08.2022).

UMRICHTER-STEUERUNGSPLATTFORM DER NÄCHSTEN GENERATION

# Digitale Zukunft

Moderne Frequenzumrichter sind mit einer Vielzahl von Systemen und Sensoren verbunden und liefern eine Vielzahl von Daten, um Dinge wie Fernwartung, Datenanalysen und Just-in-Time-Service zu unterstützen. Doch mit der zunehmenden Zahl von Schnittstellen, die im Sinne der Konnektivität geöffnet werden, gewinnt auch das Thema Cybersicherheit an Bedeutung.



**Pekka Jarvinen**  
Motion System Drives  
Västerås, Schweden

pekka.jarvinen@  
se.abb.com

Seit den Tagen, an denen die einzige Aufgabe von Frequenzumrichtern darin bestand, Verbraucher mit Strom zu versorgen, hat sich viel getan. Dank immer leistungsfähigerer Prozessoren, größerer Speicher und schnellerer Schnittstellen sind sie in der Lage, viel mehr zu leisten, als nur die Rotation eines Elektromotors anzutreiben. So kann die höhere Leistungsfähigkeit der Verarbeitungseinheiten in heutigen Umrichtern genutzt werden, um eine stetig wachsende Menge an Informationen von den angeschlossenen Systemen zu analysieren. Diese reichen von genaueren Drehmoment- und Lastschätzungen bis hin zu detaillierten Informationen zum Stromnetz.

## Bestmöglicher Sensor

In einem Automatisierungssystem ist der Umrichter typischerweise die einzige Komponente, die eine genaue Kenntnis über die angeschlossenen Komponenten besitzt. Er misst Strom und Spannung aller drei Phasen in hoher Auflösung und kann mit zusätzlichen Messeinrichtungen wie Gebern oder Temperatursensoren ausgestattet sein.

Im Zusammenhang mit Motoren berechnen die komplexen mathematischen Modelle, die für den normalen Betrieb eines Umrichters erforderlich sind, fortwährend genaue Drehmoment- und Drehzahlwerte und führen Zerlegungen der Mitsystem- und Gegensystemkomponenten sowie Oberschwingungsanalysen für die netzseitigen

Schnittstellen durch. Kurzum, der Umrichter ist höchstwahrscheinlich der bestmögliche Sensor, der im System zur Verfügung steht – und das ganz ohne zusätzliche Kosten! Die Herausforderung besteht jedoch darin, die verfügbaren Informationen zu sammeln, umzuwandeln und dorthin zu übertragen, wo sie benötigt werden.

Wie bereits erwähnt, sind Frequenzumrichter mit mehreren Systemen in ihrem Umfeld verbunden →01. Dies sind z. B. andere Automatisierungsgeräte, Sensoren oder Inbetriebnahme- und Überwachungstools vor Ort. Darüber hinaus liefern sie zunehmend Informationen, um Dinge wie Fernwartung, Datenanalysen und Just-in-Time-Service zu unterstützen. Doch je mehr Schnittstellen geöffnet werden, um die notwendige Konnektivität zu ermöglichen, desto wichtiger ist die Cybersicherheit.

Vor diesem Hintergrund wird ABB demnächst eine neue Steuerungsplattform für alle ihre Premium-Frequenzumrichter einführen →02. Die Plattform wurde von Anfang an auf darauf ausgelegt, kritische Sicherheitsfunktionen wie die Authentifizierung und Verschlüsselung von Firmware, Dateien und Anwendungen sowie eine sichere Konnektivität zu unterstützen. Darüber hinaus ist die neue Plattform rückwärts kompatibel mit der aktuellen Generation von ABB-Frequenzumrichtern, was eine einfache und vertraute Einführung gewährleistet.

Neben allen bereits zuvor vorhandenen Merkmalen bietet die Plattform nun zwei Dual-Port-Ethernet-Schnittstellen, von denen eine sämtliche Ethernet-basierte Feldbusprotokolle unterstützen kann. Der Prozessor ist ein System-on-a-Chip neuester Technik von AMD mit einem leistungsstarken Cluster von ARM-Kernen und einem FPGA (Field-Programmable Gate Array) in Kombination mit einem leistungsstarken, schnellen Speicher. Die Steuerungsplattform umfasst zudem mehrere Hardwareupgrades und ist über das gesamte Portfolio der ABB Premium-Frequenzumrichter hinweg harmonisiert, um die Bereitstellung von Ersatzteilen zu vereinfachen.

### Kryptografische Schlüssel

Um die Sicherheit der Plattform zu gewährleisten, werden bei der Fertigung des Geräts asymmetrische und symmetrische kryptografische Schlüssel in einem geschützten Bereich im Gerät gespeichert. Asymmetrische Schlüssel (RSA-4096) dienen dazu, die Authentizität der im Gerät ausgeführten Firmware zu prüfen und zu bestätigen. So kann sich der Nutzer sicher sein, dass keine schädlichen Veränderungen am Umrichter vorgenommen wurden. Kodierungsschlüssel (AES-256-GCM) hingegen schützen sowohl die IP des Anwenders als auch die IP von ABB, sodass keine wertvollen Daten gestohlen werden können.

Eine Erfahrung in Zusammenhang mit dem Internet der Dinge (IoT) besagt, dass die Kosten für die Übertragung und Speicherung von Daten proportional mit der Entfernung vom Gerät steigen. Würde man alle Echtzeit-Daten eines einzigen Umrichters nach außen übertragen, wäre dazu eine Bandbreite von mehreren Hundert Megabit pro Sekunde erforderlich. Mit der Zahl der Umrichter in einer Anlage steigen folglich auch die Anforderungen an die Bandbreite und den Speicherplatz. Eine Übertragung und Speicherung all dieser Daten in der Cloud wäre wirtschaftlich nicht praktikabel. Zwar könnte die Datenmenge mithilfe traditioneller Komprimierungsverfahren gemindert werden, doch es gibt

noch eine raffiniertere Möglichkeit, dies mithilfe von Domänenwissen zu erreichen und gleichzeitig den Mehrwert des Datenstroms zu erhöhen.

Echtzeit-Anwendungen, die eine Präzision im Sub-Mikrosekunden-Bereich erfordern und über die gesamte Produktlebensdauer hinweg keinen einzigen Ausführungszyklus verpassen dürfen, laufen typischerweise auf speziellen Echtzeitbetriebssystemen, sogenannten RTOSs (Real-Time Operating Systems). Der Vorteil eines RTOS ist, dass alle Ausführungszyklen deterministisch und präzise sind. Der Nachteil ist jedoch, dass Tools

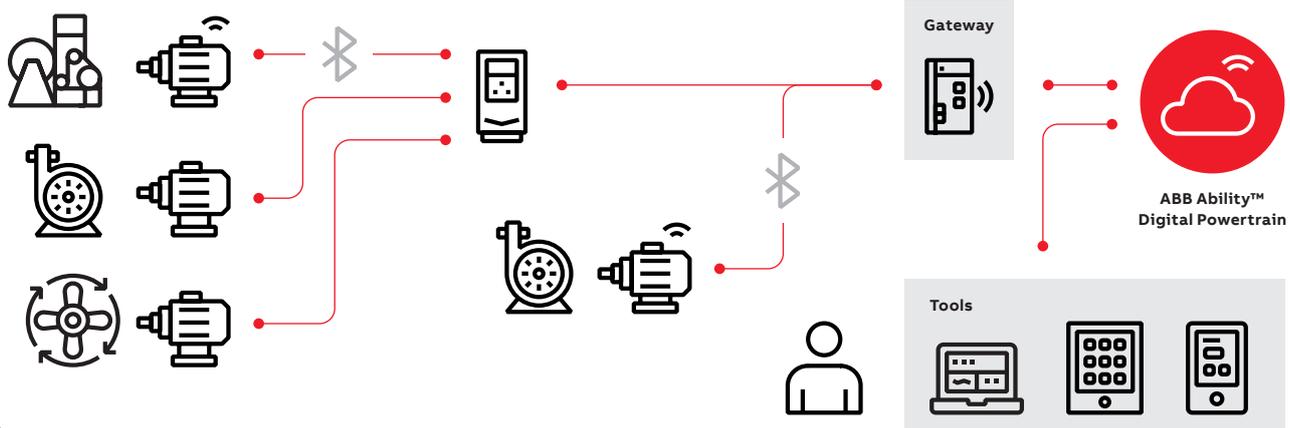
## Die neue Plattform unterstützt die Authentifizierung und Verschlüsselung von Firmware, Dateien und Anwendungen.

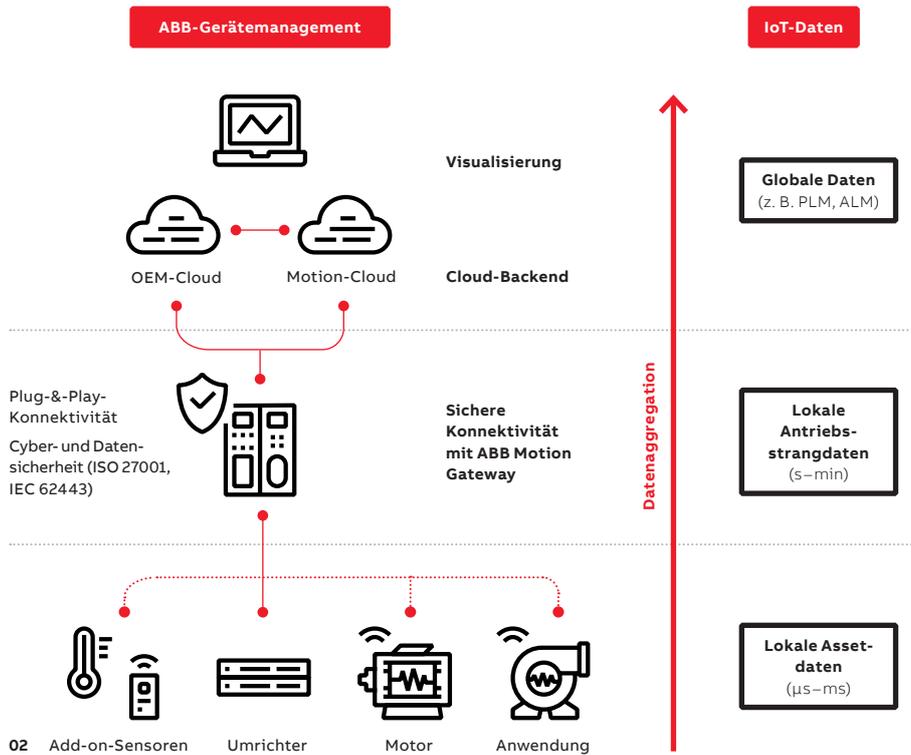
wie höhere Programmiersprachen und Algorithmen aus der Desktop- oder Webentwicklung nicht verwendet werden können, da sie häufig auf eine asynchrone Ausführung ohne Einschränkungen angewiesen sind.

ABB löst dieses Problem mit der Einführung eines eingebetteten Edge-Geräts →03 mit einer Linux-Plattform, die speziell für die Ausführung asynchroner Anwendungen ausgelegt ist und gleichzeitig entsprechende Cybersicherheitsfunktionen unterstützt. Dies bietet Nutzern die Möglichkeit, ihr Domänenwissen über das Automatisierungssystem zu nutzen, um die Datenmenge zu reduzieren.

Das Edge-Gerät ist direkt mit der Verarbeitungseinheit des Umrichters verbunden und verfügt über die gleichen Kommunikationsbibliotheken wie das ABB-Inbetriebnahmetool Drive Composer. Damit ist

— 01 Frequenzumrichter und Motoren sind mit einer wachsenden Anzahl von Systemen verbunden.





das Gerät in der Lage, auf alle im Umrichter verfügbaren Funktionen oder Daten zuzugreifen. Während Ethernet leistungsmäßig die schnellste Anschlussmöglichkeit darstellt, ist das Gerät trotzdem mit älteren ABB-Frequenzumrichter wie dem ACS800 und ACS600 kompatibel, die DDCS-Lichtwellenleiterverbindungen nutzen. Über seinen Panelanschluss ist das Gerät zudem mit Umrichtern kompatibel, die nicht mit Ethernet ausgestattet sind.

Zur Anbindung an die Cloud oder lokale Server verfügt das Gerät über eine Ethernet-Schnittstelle und ein LTE-Modem. Ein Bluetooth-Modem zum Anschluss drahtloser Sensoren ist ebenfalls vorhanden. Das Edge-Gerät und die Steuereinheit besitzen den gleichen Prozessorkern, wobei die Größe des Speichers und die Taktfrequenz genau auf die jeweiligen Anwendungsfälle abgestimmt sind.

**Containerisierte Softwareumgebung**

Das Edge-Gerät verfügt über eine vollständig containerisierte Softwareumgebung, die eine sichere Trennung von Anwendungen und unabhängige Updates erlaubt. Das heißt, auch wenn es bei einer Anwendung zu einer Sicherheitsverletzung kommt, wirkt sich dies nicht auf das gesamte System aus. Wenn das Edge-Gerät die Produktionslinie bei ABB verlässt, enthält es nur eine sichere Linux-Distri-

Das Edge-Gerät ist mit der Verarbeitungseinheit verbunden und kann auf die gleichen Funktionen und Daten zugreifen.



bution, eine Bootstrap-Gerätemanagementlösung sowie Treiber für die Hardware-Schnittstellen. Die für einen bestimmten Anwendungsfall benötigten Anwendungen werden dann auf das Gerät geladen. So ist sichergestellt, dass nur benötigte Funktionen vorhanden sind, was die Angriffsfläche für Cyberattacken minimiert. Zum Anschluss an ABB-Frequenzumrichter wird z. B. eine Anwendung geladen, die in der Lage ist, sich mit dem Umrichter zu verbinden. Hinzu kommen eine Datenbankanwendung zum Speichern der Daten vom Umrichter sowie eine Schnittstellenanwendung zur Übertragung der Daten in das gewünschte Cloud-Backend. Werden später zusätzliche Funktionen wie etwa die Anbindung an den ABB Smart Sensor benötigt, können entsprechende Anwendungen sicher und aus der

— 02 Die neue Steuerungsplattform von ABB wurde von Anfang an unter dem Gesichtspunkt der Cybersicherheit konzipiert und unterstützt den Trend zur Aggregation von Daten aus einer wachsenden Zahl von Quellen.

— 03 Das eingebettete Edge-Gerät von ABB basiert auf einer Linux-Plattform.

— 04 Die neue Plattform für Frequenzumrichter von ABB eignet sich für Echtzeit-Anwendungen, die eng mit der Kern-Firmware des Umrichters gekoppelt sind. Die Edge-Einheit führt asynchrone Operationen aus.

Ferne über die ABB-Gerätmanagementschnittelle hinzugefügt werden.

### Erweiterte Möglichkeiten für Nutzer

Das Edge-Gateway bietet Partnern und Kunden die Möglichkeit, auf schnelle und einfache Weise einen zusätzlichen Mehrwert zu generieren. Durch die Trennung von Echtzeit- und asynchronen Prozessen können Nutzer mit entsprechendem Hintergrundwissen bekannte Verfahren wie die Python-Programmierung nutzen, um Anwendungen zu entwickeln. Auch die Verwendung modernster Technologien aus dem Bereich des maschinellen Lernens wie TensorFlow ist möglich, wobei weiter-

## Das Konzept der programmierbaren Umgebung wurde auf die Echtzeit-Welt der Steuereinheit erweitert.

hin alle im Umrichter verfügbaren Daten genutzt werden können. So könnte z. B. ein Windenhersteller den Umrichter nutzen, um eine hochauflösende Chronologie vom Drehmomentprofil des mit der Winde verbundenen Motors zu erfassen und anschließend ein Modell eines alternden Seils in das Edge-Gerät integrieren. Die daraus resultierende Metrik für das Leistungsverhalten unter Alterungsbedingungen kann dann in das Servicesystem des

Herstellers übertragen werden, um die Wartungsintervalle der Winde zu optimieren.

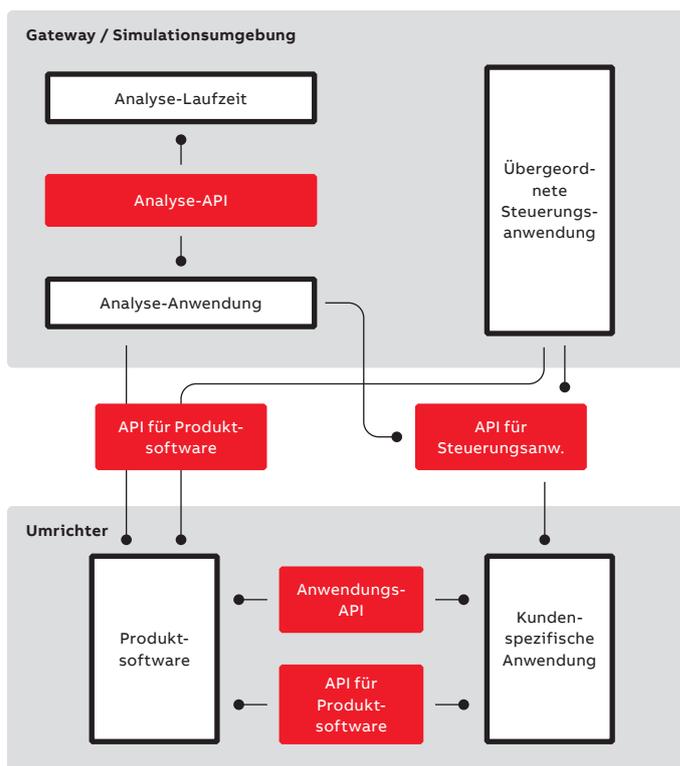
### Erweiterte Programmierbarkeit

Das Konzept der programmierbaren Umgebung wurde auf die Echtzeit-Welt der Umrichter-Stuereinheit erweitert. So ist nun z. B. erstmalig eine direkte Erweiterung der Umrichter-Firmware über ein Software Development Kit möglich. Das Kit ermöglicht die Entwicklung latenzfreier Anwendungen direkt im Umrichter mithilfe von Technologien wie Matlab Simulink oder C++-Programmierung.

Der Nutzer kann eine Anwendung zunächst mithilfe von ABB Virtual Drive in einer PC-Umgebung simulieren →04. Anschließend kann die Anwendung direkt auf den Umrichter programmiert werden, ohne dass ein Neustart erforderlich ist. Die Anwendungen, die einem strengen Ausführungstiming und einer zyklischen Ausführung unterliegen, erweitern die bereits durch das Edge-Gateway bereitgestellte Programmierbarkeit. So könnte eine Anwendung innerhalb des Umrichters z. B. eine Gleitfenster-FFT (Fast-Fourier-Transformation) über Hochgeschwindigkeitssignale berechnen und anschließend das Spektrum zusammen mit anderen benötigten Eigenschaften des schnellen Signals an das Edge-Gerät übermitteln und somit die Datenmenge erheblich reduzieren. Das Edge-Gerät könnte dann die Daten in ein speziell trainiertes maschinelles Lernmodell einspeisen, das Fehler im Systemverhalten erkennt und bei Bedarf Mitteilungen an die Cloud sendet.

Die programmierbare Umgebung in der Steuereinheit kann auch unabhängig genutzt werden. So ist es z. B. möglich, den Drehzahl- oder DC-Spannungsregler des Umrichters durch eine andere anwendungsspezifische Reglerversion zu ersetzen oder eine Anwendung hinzuzufügen, die eine aktive Dämpfung von Resonanzen durch Drehmomenteinspeisung vornimmt.

Mit der neuen Steuerungsplattform für Frequenzumrichter führt ABB den Weg in die digitale Zukunft konsequent fort. Cybersicherheit ist von der ersten Millisekunde des Geräteservice bis zum Lebensdauerende des Produkts in das System integriert. Die Authentizität sämtlicher Software wird vor der Ausführung verifiziert. Alle sensiblen IP-Daten werden verschlüsselt, und kritische Kommunikationsschnittstellen werden gesichert. Dank dieser Merkmale können sich ABB-Partner und -Kunden darauf konzentrieren, diese innovativen Tools zur Wertschöpfung zu nutzen, und müssen sich keine Sorgen um Malware, Cyberangriffe oder die Komplexität des Schreibens von Software auf Firmware-Ebene machen. •





# Transport & Effizienz





Schon seit den frühen Tagen der elektrischen Eisenbahnen gehört ABB zu den führenden Anbietern von Technologie auf diesem Gebiet. Angesichts der wachsenden Bedeutung der Elektrifizierung für eine nachhaltige Zukunft ist eine effizientere Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Nutzung elektrischer Energie unerlässlich. ABB hilft Kunden dabei, diese innovativen Technologien optimal zu nutzen.

- 56 **Eine zirkuläre Zukunft**  
Nachhaltigkeit im Leben eines Elektromotors
- 62 **BORDLINE® ESS**  
Hochleistungs-Traktionsbatterien für Schienenfahrzeuge
- 66 **Stützen fürs Netz**  
Rotierende Phasenschieber zur Netzstabilisierung
- 72 **Sicher an Bord**  
Halbleiterbasierter Schutz für DC-Bordnetze



---

## NACHHALTIGKEIT IM LEBEN EINES ELEKTROMOTORS

# Eine zirkuläre Zukunft

Mit der Entwicklung eines Zirkularitätskonzepts will ABB den Nachhaltigkeitsgedanken in alle ihre Aktivitäten – von der Produktentwicklung nach Gesichtspunkten der Abfallvermeidung bis hin zur effizienten Nutzung und Wiederverwendung – einpflanzen. Die Konstruktion und Nutzung hocheffizienter Motoren und der verantwortungsvolle Umgang mit Motoren am Ende ihrer Lebensdauer zeigt, wie diese strategischen Ambitionen wirksam umgesetzt werden können.

—  
**Santanu Singha**  
**Erik Johansson**  
 ABB Corporate Research  
 Västerås, Schweden

santanu.singha@se.abb.com  
 erik.x.johansson@se.abb.com

**Peter J. Isberg**  
 ABB Motion Service  
 Västerås, Schweden

peter.j.isberg@se.abb.com

**Emma Westberg**  
 ABB MO Discovery  
 Västerås, Schweden

emma.westberg@se.abb.com

Bis zum Jahr 2050 wird der weltweite Energiebedarf, einschließlich der von der Industrie verbrauchten Energie [1], voraussichtlich um fast 50 % steigen. Mit einem Anteil am globalen Stromverbrauch von 43 bis 46 % gehören Elektromotoren heute zu den größten Verbrauchern elektrischer Energie weltweit (7.108 TWh) [2]. Folglich hat auch die Energieeffizienz von Elektromotoren eine erhebliche Auswirkung auf den Gesamtenergiebedarf.

Die rund acht Millionen Elektromotoren, die in der Europäischen Union in verschiedensten Anwendungen wie Lüftern, Gebläsen und Werkzeugmaschinen zum Einsatz kommen, verbrauchen fast 50 % des aktuell in der Region erzeugten Stroms [3]. Industriebmotoren gehören somit zu den größten Treibern eines steigenden Stromverbrauchs. Laut Prognosen werden bis zum Jahr 2040 über 30 % des Anstiegs im Stromverbrauch auf Elektromotoren zurückzuführen sein [4]. Dies zeigt, welche bedeutende Rolle Elektromotoren künftig für eine nachhaltigere Entwicklung und die Beeinflussung des Klimawandels spielen könnten →01.

Zweifelsohne spielt das Thema Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle in der Strategie von Unternehmen. Das gilt auch für ABB. Nachhaltigkeit ist ein wesentlicher Aspekt des Unternehmenszwecks von ABB und der Werte, die das Unternehmen für seine Stakeholder schafft. Diese Strategie ruht auf drei Säulen: Reduzierung der Kohlenstoffemissionen, Schonung der Ressourcen und

Förderung des sozialen Fortschritts. Durch die Entwicklung und Umsetzung einer zirkulären Geschäftsstrategie im Sinne der Kreislaufwirt-

—  
 Nachhaltigkeit ist ein wesentlicher Aspekt des Unternehmenszwecks und der Werte von ABB.

schaft unterstreicht ABB nicht nur ihr Engagement in puncto Nachhaltigkeit, sondern schafft auch konkrete datengestützte Ergebnisse, die Kunden nutzen können, um selbst etwas zu bewirken.

### Zirkulärer Ansatz und Lebenszyklusdenken

Seit den frühen Tagen der Industrialisierung basiert die traditionelle Methode der Geschäftsführung auf einer linearen Nutzung von Ressourcen nach dem Muster Take-Make-Dispose [5] →02. Das heißt, es werden Rohstoffe abgebaut und zur Herstellung eines Produkts genutzt, das an Kunden verkauft wird, die es dann nutzen und entsorgen, wenn es seinen Zweck nicht mehr erfüllt →02a. Doch ein linearer Ansatz trägt weder zu einer optimalen Vermeidung von Abfall bei, noch bietet er Schutz gegen mögliche Störungen der ressourcenbezogenen Lieferketten [5]. Solche Herausforderungen verlangen ein anderes



01

— 01 Durch Verbesserung der Energieeffizienz von Elektromotoren trägt ABB zur Begrenzung des Energieverbrauchs und Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei. Dies geschieht im Einklang mit der neuesten Ökodesign-Verordnung (EU) 2019/1781, die im Oktober 2019 in Kraft getreten ist und – wie durch die Symbole angedeutet – für Niederspannungs-Induktionsmotoren und Drehzahlregelungen gilt.

Wirtschaftsmodell, das auf einem zirkulären Ansatz zur Wertschöpfung basiert – eine Kreislaufwirtschaft →02b. Dieses System folgt einem Take-Make-Take-Muster und ist bewusst restaurativ oder regenerativ angelegt. Das Kernziel besteht darin, Abfall nicht einfach zu „eliminieren“, sondern konstruktiv auszuschließen [5]. Ein zirkulärer Ansatz (also das Schließen des Kreislaufs) umfasst drei grundlegende Strategien:

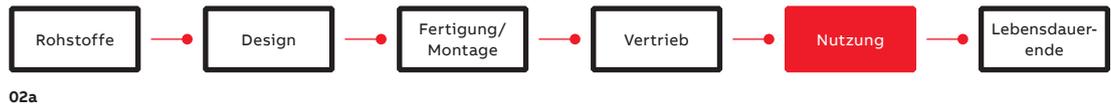
- 1) Abfall und Verschmutzung konstruktiv ausschließen (Schwerpunkt Produktdesign)
- 2) Produkte und Werkstoffe in Nutzung halten (Schwerpunkt Geschäftsmodelle)
- 3) Natürliche Systeme regenerieren (Schwerpunkt Ressourcenwiederherstellung)

Grundlage für den zirkulären Ansatz ist das Konzept des „Lebenszyklusdenkens“, also eine Sichtweise, die die ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen eines Produkts oder Prozesses über seine gesamte Lebensdauer umfasst [6]. Beim zirkulären Ansatz wird ein Produkt, Prozess oder Dienst ganzheitlich, also von den Rohstoffen über die Herstellung und den Verbrauch (bzw. die Nutzung) bis zum Lebensdauerende im Hinblick auf eine mögliche Beeinflussung der Nachhaltigkeit in den einzelnen Phasen betrachtet – ein absolutes Muss, wenn es darum geht, die Produktnachhaltigkeit zu verbessern.

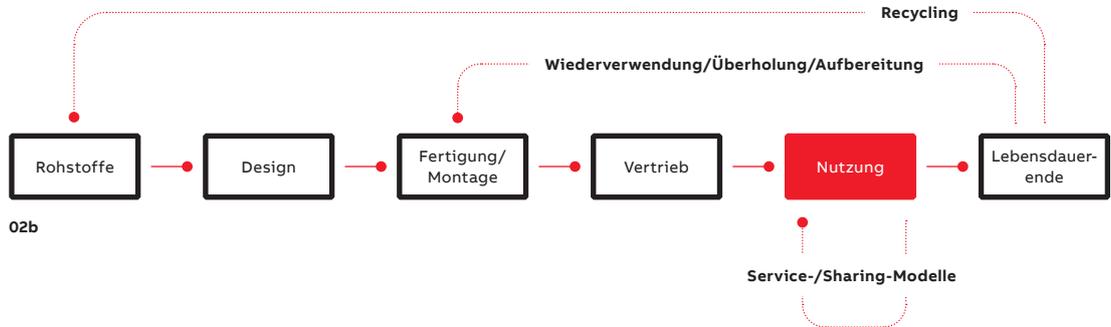
### Lebenszyklusanalyse eines Induktionsmotors

Eine Lebenszyklusanalyse (LCA, auch „Ökobilanz“ genannt) ist ein strukturiertes wissenschaftliches Verfahren, das dazu dient, die Auswirkungen eines Produkts, Prozesses oder Dienstes über dessen Lebenszyklus hinweg zu verstehen und zu beurteilen, wobei die Materialflüsse durch verschiedene Phasen betrachtet werden. Basierend auf den Grundsätzen und Rahmenbedingungen der ISO 14040:2006 werden die Materialflüsse anhand verschiedener ökologischer Wirkungskategorien wie Kohlenstoffemissionen, Treibhauspotenzial, Ozonabbaupotenzial, Wasserknappheit usw. gemessen.

Betrachten wir als Beispiel die von ABB ermittelte Ökobilanz eines Niederspannungs-(NS-) Induktionsmotors. Die von den Material- und Energieflüssen in den verschiedenen Lebenszyklusphasen des Motors ausgehende Umweltwirkung wurde mithilfe der LCA-Software SimaPro bestimmt. Während des typischen Lebenszyklus eines NS-Motors von etwa 20 Jahren entstehen über 99 % der direkten/indirekten Kohlenstoffemissionen in der Nutzungsphase. Dies zeigt deutlich die Bedeutung der Energieeffizienz eines Motors für die Nachhaltigkeit →03. Nicht weniger bedeutsam im Hinblick auf die Nachhaltigkeit sind die in einem Motor verarbeiteten Werkstoffe. Metalle, die über 98 % des Motors ausmachen, sind recycelbar und können somit wiederverwendet werden →04.



02a



02b

Die Fertigung heutiger NS-Motoren ist bereits sehr effizient: Bei der Konstruktion wird auf einen optimalen Einsatz der Werkstoffe geachtet, und die Herstellung erfolgt automatisiert in energieeffizienten Fabriken. Die praktikabelste Möglichkeit zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsbilanz von Elektromotoren besteht also in der Entwicklung bzw. Nutzung von Motoren mit einem hohen Wirkungsgrad und einer verantwortungsvollen Behandlung am Lebensdauerende.

**Energieeffizienz als Treiber für Nachhaltigkeit**

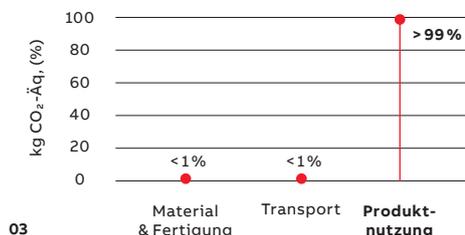
Energieeffizienz ist mittlerweile ein unternehmenskritisches Thema [7] und wird häufig im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit genannt. Laut einer kürzlich durchgeführten Umfrage zum Thema Energieeffizienz investieren 97 % der führenden Industrieunternehmen bereits in die Verbesserung der Energieeffizienz oder haben es vor [7]. Als Hauptgründe wurden Kosteneinsparungen gefolgt von unternehmerischen Nachhaltigkeitsverpflichtungen genannt.

Da Elektromotoren zu den größten Verbrauchern elektrischer Energie gehören, bergen ihre Konstruktion und Nutzung ein enormes Einsparungspotenzial. Elektromotoren sind robust und langlebig. So findet man nicht selten funktionierende Motoren, die 50 oder 60 Jahre alt sind. Das bedeutet, dass der installierte Bestand in der Industrie und Infrastruktur nicht unbedingt den

heutigen Effizienzstandards entspricht. Eine der kostengünstigsten und wirksamsten Möglichkeiten, den Energieverbrauch und die damit zusammenhängenden Emissionen zu reduzieren, bestünde darin, alte und ineffiziente Systeme und Motoren, die überdimensioniert sind und mehr Strom verbrauchen als notwendig, durch effizientere Alternativen zu ersetzen [8]. So könnte durch die Installation eines IE5-SynRM-Motors anstelle eines IE3-Motors in einer Anwendung mit einer Nennleistung von 315 kW der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 22.000 kg gesenkt werden [9]. Hinzu kommt, dass für den Rotor eines SynRM-Motors keine Magneten oder Seltene Erden benötigt werden, was das Produkt noch nachhaltiger macht.

Neben den erheblichen Einsparungen, die durch den Einsatz moderner Motoren möglich sind, lassen sich noch größere Energieeinsparungen erzielen, wenn man einen Motor mit hohem Wirkungsgrad mit einem drehzahlregulierten Antrieb (Variable Speed Drive, VSD) kombiniert. In typischen Anwendungen wie Pumpen, Lüftern und Kompressoren kann durch einen VSD der Energieverbrauch um 25 % gesenkt werden [10]. Würde man die über 300 Millionen Systeme, die zurzeit in der Industrie von Elektromotoren angetrieben werden, durch optimierte, hoch-effiziente Technik ersetzen, könnte der weltweite Stromverbrauch um bis zu 10 % gesenkt werden [11].

Angesichts dieses Potenzials hat die EU die Ökodesign-Richtlinie mit dem Ziel verabschiedet, die Nutzung von energieeffizienten Motoren und Drehzahlregelungen in der Industrie voranzutreiben [12], um den Energieverbrauch und die Klimaauswirkungen zu begrenzen. Damit spielt die Effizienz von Motoren eine große Rolle bei den Zielen der EU, den Energieverbrauch bis zum Jahr 2030 um 32,5 % zu senken.



03

—  
02 Typische Phasen eines Produktlebenszyklus nach dem traditionellen linearen und dem zirkulären Ansatz. Während die Vermeidung von Abfall und die Schonung von Ressourcen Hauptziele darstellen, geht es in dem betrachteten Szenario vornehmlich um die Ressourcen Werkstoffe und Energie.

02a Der lineare Ansatz.

02b Der zirkuläre Ansatz.



04

—  
03 Verteilung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks eines NS-Motors über einen Lebenszyklus von 20 Jahren. Die Ergebnisse ermöglichen ABB datengestützte Entscheidungen.

—  
04 Bei der Konstruktion, Herstellung und Nutzung von Motoren und deren Komponenten wird auf einen nachhaltigen Fluss der verwendeten Materialien (z. B. Metalle) geachtet, der Recycling und Wiederverwendung beinhaltet.

—  
05 Analyse der durch das Recycling der Metalle von 10 t Elektromotoren erzielten Umweltwirkung. Zum Vergleich der Energie- und Wasserverbrauch eines typischen Einfamilienhauses.

**Umweltwirkung am Lebensdauerende**

Laut einem Bericht der Weltbank [13] wird eine kohlenstoffarme Zukunft rohstoffintensiv werden, da für die Umsetzung sauberer Energietechnologien mehr Rohstoffe benötigt werden. Da sich dies auf die Rohstoffversorgung und -verfügbarkeit auswirken dürfte, könnte Recycling eine zunehmend wichtige Rolle bei der Deckung dieses Bedarfs spielen und somit den Übergang in eine kohlenstoffarme Zukunft unterstützen. Das Recycling von Motoren und deren Komponenten könnte die Verfügbarkeit von Werkstoffen verbessern und die Notwendigkeit zum Abbau neuer Rohstoffe und die damit verbundenen Umweltwirkungen mindern.

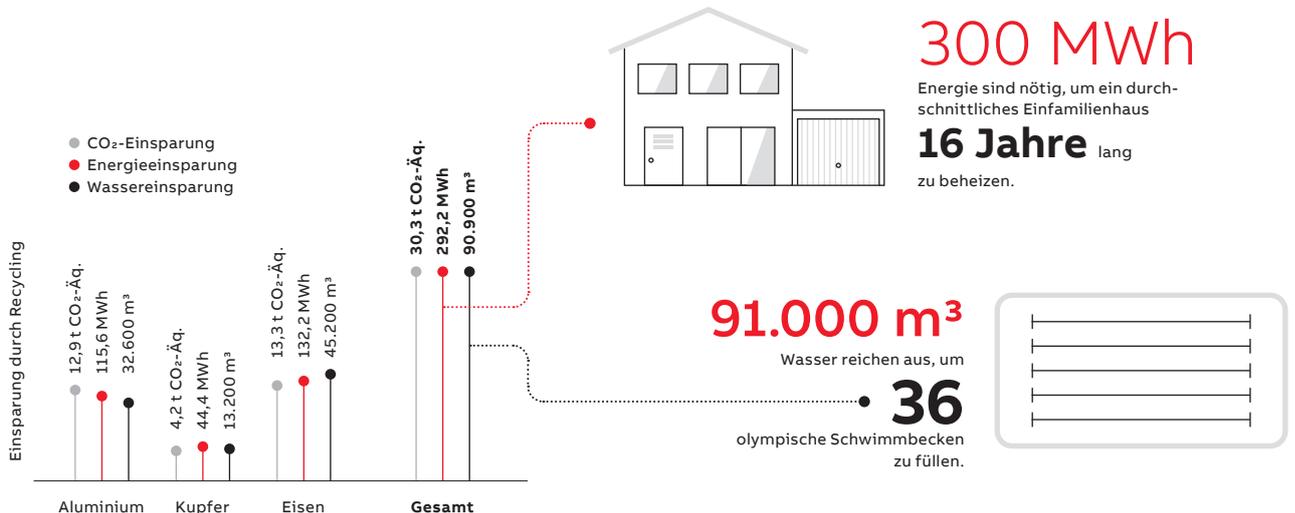
Zur Schätzung dieses Potenzials hat ABB mithilfe von SimaPro eine detaillierte Analyse der Umweltwirkung durchgeführt, die durch Recycling der in den Motoren verbauten Metalle am Ende ihrer Lebensdauer erzielt werden kann →05. Dazu wurden praktische Szenarien mithilfe realistischer Daten zu den Recyclingprozessen und zum Transport modelliert. Durch das Recycling von 10 t

Motoren könnten 30 t CO<sub>2</sub>, 300 MWh Energie und 91.000 m<sup>3</sup> Wasser eingespart werden – ein äußerst vielversprechendes Ergebnis →05. Zum Vergleich: 300 MWh Energie werden benötigt, um ein durchschnittliches Einfamilienhaus 16 Jahre lang zu beheizen, und mit 91.000 m<sup>3</sup> Wasser könnte man 36 olympische Schwimmbecken füllen →05.

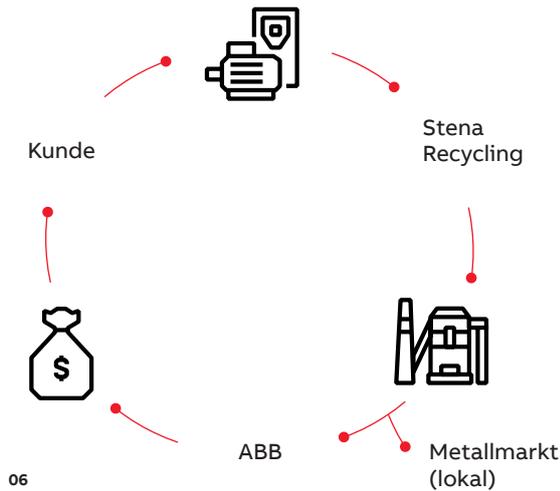
Darüber hinaus bieten Metalle einen weiteren Vorteil: Sie können kontinuierlich und endlos recycelt und wiederverwendet werden →04. Man stelle sich den Umweltnutzen vor, wenn die Metalle eines Produkts am Ende seiner Lebensdauer stets recycelt würden. Angesichts dieses Potenzials hat ABB ein großes Interesse am End-of-Life-Management von Elektromotoren und anderen Produkten.

**Den Kreis schließen durch Kollaboration und Digitalisierung**

Da Nachhaltigkeit naturgemäß eine kollaborative Sache ist, die die drei Säulen Ökologie, Soziales und Wirtschaft umfasst, ist das nachhaltige Wachstum eines Unternehmens eng an die Optimierung dieser drei Faktoren gekoppelt. Doch Unternehmen



05



06

können diese Parameter nicht unmittelbar und isoliert beeinflussen und steuern – es gibt andere Stakeholder in der Wertschöpfungskette, deren Interessen miteinander verknüpft und gleichwertig sind und gleichzeitig optimiert werden müssen. Kollaborationen, Allianzen oder Partnerschaften bilden das Fundament für eine größere Wirkung und eine erfolgreiche nachhaltige Transformation. Durch Zusammenarbeit mit allen wichtigen Stakeholdern kann ein gemeinsamer Nachhaltigkeitswert geschaffen werden, der langlebig, skalierbar und transformativ ist.

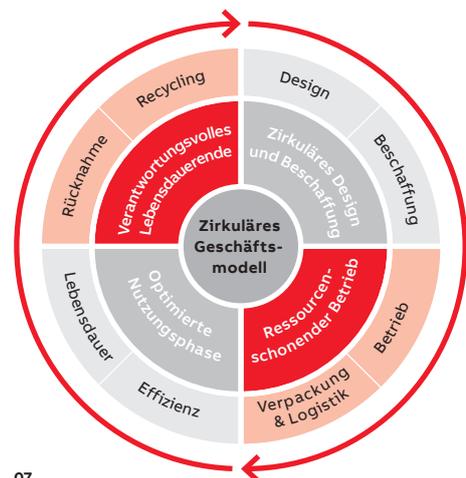
Bestärkt durch die positiven Ergebnisse im Hinblick auf die Umweltwirkung des Metallrecyclings hat ABB eine Zusammenarbeit mit dem schwedischen Unternehmen Stena Recycling ins Leben gerufen, um Kunden die Möglichkeit zu bieten, ihre alten und ineffizienten Elektromotoren (kleinere NS- und größere HS-Motoren) auf geeignete Weise zu recyceln →06. Das Rücknahme- und Recycling-Geschäftsmodell senkt nicht nur die Emissionen, sondern mindert auch die Gefahr, dass alte, ineffiziente Motoren auf dem Gebrauchtmärkte landen und sich negativ auf die Umwelt auswirken.

Der gesamte Rücknahme- und Recyclingprozess ist auf eine möglichst geringe Umweltbelastung ausgelegt und nachhaltig konzipiert. Berücksichtigt werden das Gesamtgewicht der zu recycelnden Motoren, die zurückzulegenden Entfernungen sowie die Art und die Häufigkeit des Transports.

Die Realisierung einer nachhaltigen Transformation durch Kollaboration kann durch Digitalisierung zusätzlich gestärkt und beschleunigt werden. Angesichts der zunehmenden Verbreitung des industriellen Internets der Dinge (IIoT) können datengestützte Entscheidungsprozesse genutzt werden, um Abfälle zu minimieren und eine produktive und nachhaltige Zukunft zu gewährleisten.

Mithilfe von digitalfähigen Produkten, Lösungen und Services können Echtzeit-Daten erfasst werden, um den Zustand von Anlagen und Systemen zu bestimmen und geeignete Entscheidungen zur Optimierung und Verbesserung der Energieeffizienz zu ermöglichen. ABB hat z. B. intelligente Sensoren zur Durchführung einer Energieanalyse an Motoren in der Papierfabrik ihres Kunden SCA im schwedischen Munksund installiert [14]. Die Sensoren lieferten Informationen über den Zustand und die Wirkleistung an der Motorwelle. Durch Analyse der Daten lassen sich nicht nur die genutzte Wirk- und Blindleistung und der jährliche Wirk- und Blindleistungsverbrauch, sondern auch die korrekte Dimensionierung des Motors für die Anwendung und das Einsparungspotenzial (in kWh, € und kg CO<sub>2</sub>) bei einem Austausch des Motors bestimmen. Bisher hat SCA Motoren mit einem Gesamtgewicht von 28 t über das zirkuläre Recyclingmodell von ABB recycelt. Mithilfe der Analyse wurden 11 t Motoren identifiziert, ersetzt und zu Stena Recycling transportiert [14].

Das Geschäftsmodell von ABB für die Rücknahme und das Recycling von Motoren ist flexibel. Das Konzept kann um passende digitale Lösungen und Angebote für energieeffiziente Motoren erweitert werden, um die Nachhaltigkeit des Gesamtprozesses zu verbessern. So senkt eine Kombination von Prozessen zum Recycling ineffizienter Motoren einerseits und zum Austausch gegen neue, effizientere Motoren andererseits (sozusagen eine „Upcycling“-Initiative) die Kohlenstoffemissionen in beiden Prozessschritten. Es lassen sich aber noch weitere Nachhaltigkeitsvorteile erzielen: In bestimmten Fällen kann ABB Kunden in Zusammenarbeit mit Stena Recycling einen Ausgleich für das recycelte Material sowie einen Verwertungsnachweis und Umweltbericht anbieten, wenn sie neue Produkte von ABB erwerben [15].



07

—  
06 Das Geschäftsmodell für die Rücknahme und das Recycling von Motoren unterstreicht die Zusammenarbeit zwischen ABB, Stena und dem Kunden.

—  
07 Das zirkuläre Geschäftsmodell von ABB zeigt die Bedeutung effizienter Abläufe und eines verantwortungsvollen End-of-Life-Managements.

## Veränderungen bewirken durch Zirkularität

Die Entscheidungsfindung im Hinblick auf die Produktnachhaltigkeit muss mit entsprechenden Daten und einem Verständnis der Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts, in diesem Fall eines Elektromotors, beginnen. Abhängig vom CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in den verschiedenen Lebenszyklusphasen bieten sich geeignete Möglichkeiten für nachhaltige Verbesserungen, die durch LCA-Modellierung und Brainstorming bestimmt werden können →07. Während sich der hier beschriebene Fall auf ein spezifisches Szenario bezieht, bei dem der Motor eine Lebenserwartung von 20 Jahren besitzt, würde ein anderes Szenario mit einem weniger langlebigen Motor und somit anderen Nachhaltigkeitsergebnissen andere Vorgehensweisen erfordern, um die Umweltwirkung zu minimieren.

Durch Konzentration auf die Energieeffizienz in der Nutzungsphase und das Recycling am Lebensdauerende →06 konnte ABB einen bestmöglichen positiven Umweltbeitrag erzielen. Zukünftig werden sich sicherlich noch weitere Möglichkeiten bieten, um die Nachhaltigkeit von Motoren weiter zu verbessern, z. B. durch die Verwendung besserer Werkstoffe oder durch Geschäftsmodelle, die eine Zirkularität innerhalb einer oder mehrerer Phasen ermöglichen →07.

Auch wenn mit zunehmendem Bewusstsein und zukünftigen technologischen Entwicklungen die Möglichkeiten zur Verbesserung der Nachhaltigkeit eines Produkts immer vielfältiger werden, steht das Konzept des „zirkulären Denkens“ weiterhin im Mittelpunkt der Produktnachhaltigkeit. Der Schlüssel zur bestmöglichen nach-

—  
Das Konzept von ABB bietet die Möglichkeit, den am besten geeigneten zirkulären Ansatz ermitteln.

haltigen Lösung liegt in der Wahl des richtigen zirkulären Ansatzes. Das Zirkularitätskonzept von ABB bietet die Möglichkeit, den am besten geeigneten zirkulären Ansatz für ein bestehendes oder zukünftiges Produkt zu ermitteln. Letztendlich liegt es in der Verantwortung von ABB, eine zirkuläre Zukunft für ihre Produkte umzusetzen, und genau das tut das Unternehmen. •

## Literaturhinweise

[1] U.S. Energy Information Administration (EIA): „International Energy Outlook 2021“, S. 12. Verfügbar unter: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo> (abgerufen am 24.11.2022).

[2] C. U. Brunner, P. Waide: „Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems“. *IEA – International Energy Agency* (2011), S. 1–128.

[3] European Commission: „Electric motors | European Commission“ (2020).

[4] International Energy Agency: „Energy Policies of IEA Countries: Sweden 2019 Review“, S. 1–165.

[5] Ellen MacArthur Foundation: „Towards the Circular Economy“ (2013), S. 1–98.

[6] United Nations Environment Programme Life Cycle Initiative

Website. Verfügbar unter: <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/> (abgerufen am 08.09.2022).

[7] ABB Website „The Energy Efficiency Movement“. Verfügbar unter: <https://www.energyefficiencymovement.com> (abgerufen am 04.11.2022).

[8] A. Guggisberg: „Data is key to boosting industrial energy efficiency“. *The Business Reporter*. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/brandfeature/the-business-reporter/sustainability-hub/data-is-key-to-boosting-industrial-energy-efficiency> (abgerufen am 08.09.2022).

[9] ABB: „ABB IE5SynRM motors are awarded Efficient Solution label“. ABB Webstory (2020). Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/71053/>

abb-ie5-synrm-motors-are-awarded-efficient-solution-label (abgerufen am 08.09.2022).

[10] ABB: „Reaching IE5 efficiency with magnet-free motors“. ABB White Paper (2021), S. 1–9.

[11] S. Floeck: „Circularity: the new direction of choice“. *The Business Reporter*. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/brandfeature/the-business-reporter/sustainability-hub/circularity-the-new-direction-of-choice> (abgerufen am 01.11.2022).

[12] European Commission Website „Electric motors and variable speed drives“. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/>

electric-motors\_en (abgerufen am 08.09.2020).

[13] K. Hund et al.: „Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition“. *The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank* (2020), S. 1–112.

[14] ABB: „ABB's recycled motors provide significant environmental savings – reduced 34 tons of carbon dioxide emissions in pilot projects“. ABB Pressemitteilung (01.07.2021). Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/sv/detail/80118/abbs-recycled-motors-provide-significant-environmental-savings-reduced-34-tons-of-carbon-dioxide-emissions-in-pilot-projects> (abgerufen am 08.09.2020).

[15] ABB: „Partnering Together for a Circular Economy: ABB Large

Motors and Generators Sweden and Stena Recycling“. ABB Pressemitteilung (10.05.2022). Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/90905/partnering-together-for-a-circular-economy-abb-large-motors-and-generators-sweden-and-stena-recycling> (abgerufen am 08.09.2022).



01

## HOCHLEISTUNGS-TRAKTIONSBATTERIEN FÜR SCHIENENFAHRZEUGE

# BORDLINE<sup>®</sup> ESS

Das Onboard-Energiespeichersystem (ESS) der ABB BORDLINE-Reihe ist eine modulare und vielseitige Lösung, die nicht nur zur Dekarbonisierung des Schienenverkehrs beiträgt, sondern auch dabei hilft, die Gesamtbetriebskosten zu senken, die Sicherheit zu verbessern und den Betrieb nachhaltiger zu gestalten.



**Senthilnathan Mariappan**  
ABB Motion, Traction  
Untersiggenthal,  
Schweiz

senthilnathan.  
mariappan@ch.abb.com

Die Schiene gehört zu den am stärksten elektrifizierten Verkehrsmitteln und stellt sowohl im Hinblick auf den Energiebedarf als auch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Fahrgastkilometer bzw. Tonnenkilometer eine nachhaltige Alternative zu anderen Transportmitteln dar. Tatsächlich sind Züge wesentlich effizienter als Pkw und Lkw, auch wenn sie mit fossilen Kraftstoffen betrieben werden. Zudem sind die Emissionen im Schienenverkehr bei gleichzeitiger Steigerung des Passagier- und Frachtaufkommens kontinuierlich gesunken, womit der Schienenverkehr innerhalb des Transportsektors eine Ausnahme darstellt.

Gleichwohl strebt der Eisenbahnsektor weitere Verbesserungen der Energieeffizienz und des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks an, um den seinen Umweltvorteil zu stärken und sich als Rückgrat eines nachhaltigen, CO<sub>2</sub>-armen, multimodalen und sicheren Verkehrssystems zu etablieren.

Hinzu kommt, dass die Elektrifizierung in vielen Ländern aus verschiedenen Gründen zu langsam voranschreitet. Umso wichtiger ist es, alternative Lösungen zu finden, die entweder den Verzicht auf fossil betriebene Schienenfahrzeuge ermöglichen oder zumindest deren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verkleinern, wenn eine vollständige Elektrifizierung der Bahnnetze nicht wirtschaftlich machbar ist →01.

### Alternative Antriebssysteme für Züge

Eine wichtige Rolle beim Umstieg auf nachhaltige Verkehrslösungen spielen alternative CO<sub>2</sub>-arme Antriebssysteme mit integrierten Onboard-ESS. Der verstärkte Einsatz dieser Technologien über ein breites Anwendungsspektrum von leichten Stadtbahnfahrzeugen bis hin zu Schwerlastlokomotiven und Sonderfahrzeugen zur Instandhaltung der Infrastruktur trägt nicht nur zur Dekarbonisierung



02

—  
01 In die Dekarbonisierung des Schienenverkehrs werden große Summen investiert.

—  
02 BORDLINE Hochleistungs-Batteriemodul.

—  
03 Ein einzelnes Batteriepaket.

—  
04 Batteriepaket für die Dachmontage.

des Schienenverkehrs bei, sondern ermöglicht auch eine Senkung der Gesamtbetriebskosten gegenüber etablierten Lösungen mit Verbrennungsmotor. Zu den weiteren Vorteilen gehören eine Verbesserung der betrieblichen Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs, Steigerung der Flexibilität und Senkung der Infrastrukturkosten.

#### Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten

Ein Onboard-ESS kann als Hauptenergiequelle für batterieelektrische Fahrzeuge verwendet werden und den Betrieb auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten ermöglichen. In Hybridfahrzeugen fungiert das ESS als Pufferspeicher zur Bereitstellung von Spitzenstrom, sodass die installierte Leistung der primären Energiequelle – z. B. des Dieselmotors oder einer Brennstoffzelle – reduziert werden kann, und ermöglicht die Rückgewinnung (Rekuperation) von Bremsenergie. Durch Kappung der Lastspitzen (Peak-Shaving) kann die primäre Energiequelle zudem häufiger an ihrem optimalen Wirkungsgradpunkt betrieben werden, was den Kraftstoffverbrauch senkt.

In Diesel-Hybrid-Anwendungen kann das Onboard-ESS zur Senkung schädlicher Emissionen beitragen, indem die in den Batterien gespeicherte Energie

während des Aufenthalts im Bahnhof genutzt wird, um Hilfsbetriebe zu versorgen und das Fahrzeug beim Verlassen des Bahnhofs zu beschleunigen.

In Fahrzeugen, die über einen Gleichstrom-Fahrdraht versorgt werden, hilft ein ESS dabei, die Rekuperation der Bremsenergie in Netzen mit eingeschränkter Aufnahmefähigkeit zu maximieren, die Netzspannung durch Peak-Shaving zu stabilisieren – was wiederum eine Erhöhung der Netzdichte ohne teure Aufrüstung der Infrastruktur ermöglicht – und das Potenzial zwischen Schiene und Erde zu reduzieren.

Die Erfüllung all dieser Aufgaben erfordert robuste und zuverlässige Traktionsbatterien, die in der Lage sind, die notwendige Leistungsfähigkeit mit maximaler Sicherheit und Zuverlässigkeit über eine lange Lebensdauer von bis zu 15 Jahren und länger bereitzustellen.

#### Notwendige Eigenschaften von Traktionsbatterien

Für die Traktionsbatterien von Schienenfahrzeugen gelten höhere Leistungsanforderungen als für die Batterien von Elektroautos. Dies wird deutlich, wenn man bedenkt, dass die meisten Elektroautos rund 95 % ihres Lebens geparkt sind und in 10 Jahren weniger als 100.000 km zurücklegen. Ein typischer Nahverkehrszug hingegen hat eine Lebensdauer von etwa 30 bis 35 Jahren, ist an 350 Tagen im Jahr 16 bis 18 Stunden lang in Betrieb und legt in weniger als fünf Jahren 1.000.000 km zurück. All diese Faktoren führen zu einer rund 20-mal höheren kumulativen Belastung der Batterie als bei einem Elektroauto. Darüber hinaus müssen Traktionsbatterien eine hohe

—  
Für Traktionsbatterien von Schienenfahrzeugen gelten höhere Leistungsanforderungen.

Eigensicherheit und Verfügbarkeit bieten, keinen Leistungsabfall an warmen oder kalten Tagen aufweisen, eine lange Lebensdauer besitzen und (sowohl beim Laden als auch beim Entladen) eine hohe Leistungsfähigkeit über einen breiten Temperatur- und Ladezustandsbereich bieten.



04

Das bedeutet wiederum, dass bei der Auswahl von Traktionsbatterien für Schienenfahrzeuge nicht allein die Kosten pro Kilowattstunde (kWh) oder die spezifische Energie als Leistungskennzahlen herangezogen werden sollten. Stattdessen sollte die Kaufentscheidung auf der Grundlage der zu erwartenden Gesamtbetriebskosten über die Lebensdauer des Fahrzeugs getroffen und eine Batterie gewählt werden, die auch unter rauen Umgebungsbedingungen zuverlässig funktioniert.

#### Modulare Hochleistungsbatterien

Vor dem Hintergrund dieser Anforderungen hat ABB BORDLINE ESS entwickelt, eine leistungsstarke Lithium-Ionen-Batterie, in die das technische Know-how und die jahreslange Erfahrung des Unternehmens im Eisenbahnsektor eingeflossen sind.

Um eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, basieren die BORDLINE-Batteriepakete auf modularen Hardware- und Softwarebausteinen. Dieser Ansatz ermöglicht ein hohes Maß an Standardisierung sowohl auf Modul- als auch auf Paketebene, ohne die Flexibilität zu beeinträchtigen, die zur Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen für die Anforderungen von OEMs und für eine schnelle Markteinführung notwendig ist →02–03.

Das Herzstück jedes Batteriepakets bilden Module aus leistungsstarken prismatischen Lithium-Ionen-Zellen mit einer Anode aus Lithium-Titan-Oxid (LTO). Batterien mit LTO-Anode eignen sich besonders für Eisenbahnanwendungen, da sie eine hohe Eigensicherheit (z. B. Toleranz gegen Missbrauch), einen langen Lebenszyklus, die Möglichkeit zur Schnellladung, eine hervorragende Lebensdauer (auch bei 35 °C) und ein gutes Tieftemperaturverhalten bieten. Darüber hinaus ermöglichen LTO-Batterien den Betrieb über einen breiten Ladezustandsbereich ohne Leistungseinschränkung.

Das Batteriemodul ist mit einer patentierten Flüssigkeitskühlung ausgestattet, die auch in anspruchsvollsten Anwendungen eine maximale Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Batterie gewährleistet. Die Zellen werden in einem Laserschweißverfahren gefertigt, das sich durch eine geringere Wärmezufuhr in die Zelle, eine hohe Präzision und eine hohe Wiederholbarkeit auszeichnet und eine sehr stabile elektrische Verbindung mit geringem Kontaktwiderstand sicherstellt. Außerdem minimiert das Laserschweißen aufgrund der geringeren Gefahr von Oxidation bzw. Korrosion zwischen den Zellenklemmen und Sammelschienen den Kontaktverschleiß über die Lebensdauer der Zellen.

**Vorteile standardisierter modularer Bausteine** ESS, die auf standardisierten und modularen Bausteinen basieren, bieten verschiedene Vorteile, darunter:

- Skalierbarkeit: Die Spannung und die Energie

des ESS lassen sich leicht an die individuellen Bedürfnisse des Kunden anpassen. So können viele Anwendungen mit einer minimalen Anzahl verschiedener Module abgedeckt werden.

- Höhere Verfügbarkeit: Ein Fehler in einem Batteriepaket führt nicht gleich zum Ausfall des Gesamtsystems. Nachdem das fehlerhafte Paket isoliert wurde, kann das Fahrzeug seinen Betrieb fortsetzen.
- Hervorragende Sicherheit: Ein thermisches Durchgehen bleibt auf ein einziges Teilpaket innerhalb des Gesamtsystems begrenzt und wird eingedämmt, wobei ein solches Ereignis aufgrund des Designs und der Zellenwahl beim BORDLINE<sup>®</sup> ESS äußerst unwahrscheinlich ist.
- Schnellerer Service: Anstatt das gesamte System aus dem Zug ausbauen zu müssen, können einzelne Pakete ausgetauscht werden.
- Flexibilität: Das Batteriesystem kann durch Vergrößern oder Verkleinern der Paketzahl auch bei in Betrieb befindlichen Flotten problemlos an sich verändernde Anforderungen angepasst werden.
- Vielseitigkeit: Das standardisierte System lässt sich einfach und flexibel auf dem Dach, im Unterboden oder im Maschinenraum des Fahrzeugs integrieren, es sind lediglich Anpassungen an den Montageschnittstellen erforderlich →04.

#### Produktion und Test von Modulen

Die Herstellung der Batteriemodule erfolgt auf einer halb automatisierten Produktionslinie in Baden (Schweiz), an der neben Pick-&-Place-Tätigkeiten →05 auch Laserschweißaufgaben und

## Das BORDLINE ESS von ABB basiert auf leistungsstarken Lithium-Ionen-Batterien.

Qualitätsprüfungen von Robotern übernommen werden. Die Ergebnisse von Burn-in-Tests und andere relevante Parameter werden aufgezeichnet und fließen als Grundlage zur Überwachung der Leistungsfähigkeit im Praxiseinsatz in ein Zustandsfernüberwachungssystem ein.

#### Digitale Lösungen steigern den Kundennutzen

Um den Kundennutzen zu erhöhen, hat ABB eine Reihe von Remote-Service-Lösungen entwickelt, die eine optimale Nutzung des ESS gewährleisten, einen Überblick über den installierten Bestand bieten und die Durchführung einer flottenweiten Analyse ermöglichen. Die Analyse von Felddaten liefert wertvolle Einblicke in den aktuellen Zustand der Batterie und kann zur Bestimmung und Umsetzung von Korrekturmaßnahmen oder als Grundlage für fundierte Entscheidungen hinsichtlich der Optimierung



05

—  
05 Handhabung von  
Batteriezellen mithilfe  
eines ABB-Roboters.

—  
06 Fünfundfünfzig  
neue Züge dieses Typs  
von Stadler werden mit  
BORDLINE ausgerüstet.



06

und Sicherheit genutzt werden. Der Fernzugriff auf Felddaten ermöglicht zudem eine schnellere Fehlerbehebung und Umsetzung von Korrekturmaßnahmen.

ABB hat bereits Hochleistungs-Traktionsbatterien für über 550 Schienenfahrzeuge geliefert, die die gesamte Bandbreite von Bahnanwendungen abdecken. Zwei Beispiele sollen im Folgenden vorgestellt werden.

#### **Batterieelektrische Züge für Norddeutschland**

Zurzeit arbeitet ABB an einem Auftrag zur Bereitstellung energieeffizienter Traktionsumrichter und ESS für den Schweizer Schienenfahrzeughersteller Stadler. Die Antriebskomponenten werden in 55 neue Batterie-Elektrotriebzüge (BEMU) für die norddeutsche Nahverkehrsverbund Schleswig-Holstein GmbH (NAH.SH) installiert. Die Züge sollen in einem teilelektrifizierten Netz verkehren, dessen längster nicht elektrifizierter Abschnitt rund 80 km lang ist →06. Der Einsatz von Hochleistungsbatterien sorgt dafür, dass die Fahrzeuge sowohl im Oberleitungs- als auch im Batteriebetrieb die gleiche Leistung haben.

#### **Hybridzüge für Trenitalia**

In einem weiteren Auftrag liefert ABB BORDLINE ESS und DC-DC-Wandler für die „Masaccio“ Hybrid-Triebzüge von Hitachi Rail. Die ESS der 70 Züge für das italienische Eisenbahnunternehmen Trenitalia dienen vornehmlich zur Speicherung der beim Bremsen im Dieselbetrieb zurückgewonnenen Energie. Diese gespeicherte Energie wird dann zur Unterstützung des Antriebs beim Beschleunigen und zur Versorgung von Hilfsbetrieben an bestimmten Haltepunkten genutzt. So kann dort auf den Betrieb des Dieselmotors verzichtet werden, was zur Reduzierung der Emissionen vor Ort beiträgt.

#### **Auf dem Weg in eine kohlenstoffarme Zukunft**

Weltweit arbeitet die Eisenbahnindustrie daran, die Energieeffizienz des Schienenverkehrs zu steigern und Emissionsziele zu erreichen, die die Position der Bahn als effizientestes und umweltfreundlichstes Transportmittel stärken. Die zur Umsetzung signifikanter Verbesserungen erforderlichen Technologien sind nicht nur verfügbar, sondern auch erprobt. Mit BORDLINE stehen der Schienenfahrzeugindustrie ebenso leistungsstarke wie langlebige und sichere Traktionsbatterien zur Verfügung. •

---

ROTIERENDE PHASENSCHIEBER ZUR NETZSTABILISIERUNG

# Stützen fürs Netz

Mit zunehmender Einbindung erneuerbarer Energiequellen sinkt die Zahl der Erzeugungsanlagen mit hoher Massenträgheit – d. h. der konventionellen Kraftwerke – sowohl von ihrer tatsächlichen Anzahl als auch von ihrem Anteil an der Gesamterzeugungsleistung her. Die rotierenden Phasenschieber von ABB können verloren gegangene Massenträgheit ersetzen und so zur Stabilisierung der Netzfrequenz und -spannung beitragen.



**Carl Nilsson**  
ABB Large Motors &  
Generators Division  
Stockholm, Schweden

carl.nilsson@se.abb.com

Es wird erwartet, dass sich die Stromversorgungslandschaft in den nächsten 10 Jahren stärker verändern wird als in den vergangenen 100 Jahren [1]. Kennzeichnend hierfür ist der Umstieg von großen, stabilen und mit fossilen Brennstoffen betriebenen zentralen Kraftwerken, die die Verbraucher über

---

Die Reduktion der verfügbaren Massenträgheit kann dramatische Auswirkungen haben.

Übertragungs- und Verteilnetze mit Strom versorgen, auf eine Topologie, die sich durch eine Vielzahl dezentraler erneuerbarer Energieressourcen auszeichnet →01. Dies führt dazu, dass einerseits immer mehr unbeständige Versorgungsquellen an das Netz angebunden werden und andererseits immer mehr herkömmliche Erzeugungsanlagen mit hoher Massenträgheit wie öl- und kohlebefeuerte Kraftwerke wegfallen.

Der Wegfall dieser Generatoren mit hoher Massenträgheit hat gravierende Auswirkungen, denn dadurch, dass die stabilen, berechenbaren und kontrollierbaren Energiequellen durch immer mehr erneuerbare Quellen mit schwankendem Energieangebot ersetzt werden, können die Energieversorgung und der Energiepreis nicht mehr garantiert werden. Die meisten erneuerbaren Energiequellen



wie Wind und Sonne sind nicht kontrollierbar, und ihre Verfügbarkeit ist vom Wetter abhängig. Diese Unberechenbarkeit wirkt sich auf den Strompreis aus, sodass Großverbraucher entsprechende Tools benötigen, um den Einkauf und die Nutzung elektrischer Energie zu planen.

Und da Energie stets genau dann zur Verfügung stehen muss, wenn sie benötigt wird, und Energiespeichertechnologien noch immer relativ teuer sind, wird von Großverbrauchern ein verbraucherseitiges Lastmanagement (Demand Side Management) erwartet, das ihre Belastung des Netzes an die Verfügbarkeit der Energie und bestimmte Preisprofile anpasst. Doch eine solche Vorausplanung ist nicht immer möglich. Zudem muss eine Anpassung zeitgleich erfolgen, was wiederum die Stabilität und Qualität der Produktion beeinträchtigen oder in einigen Fällen zu Prozessabschaltungen führen kann.

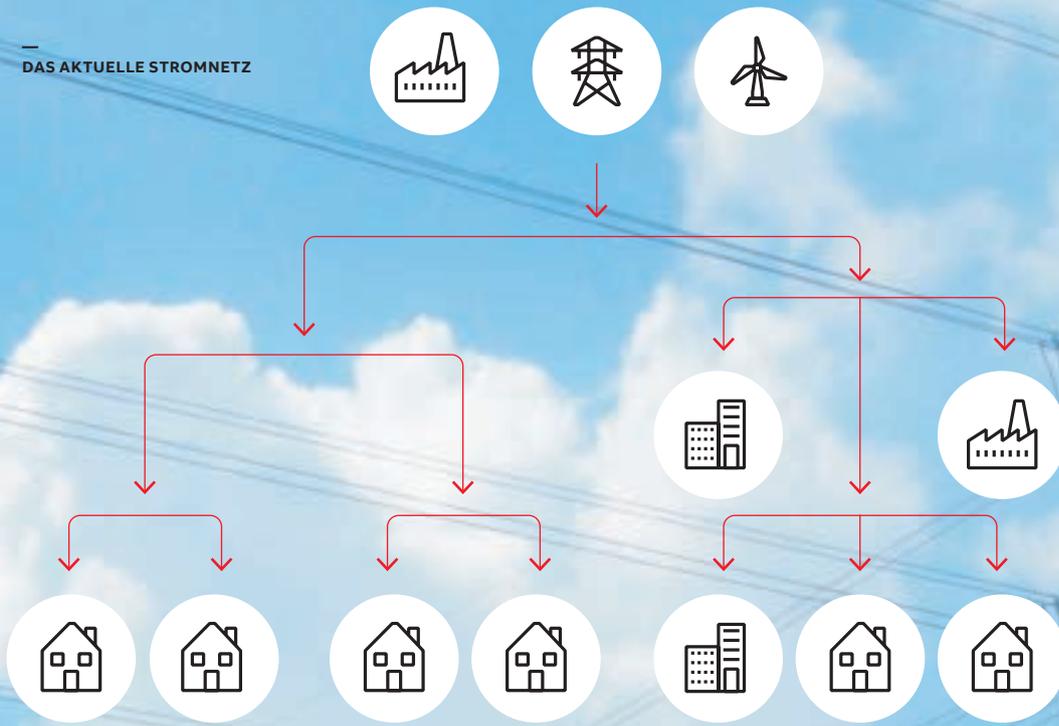
Die drastische Reduktion der verfügbaren Massenträgheit im Netz, die auch als Momentanreserve bezeichnet wird, kann jedoch noch dramatischere Auswirkungen haben als „nur“ die Störung der Produktion. Die Massenträgheit wird benötigt, um plötzliche Veränderungen

—  
Die Massenträgheit wird benötigt, um plötzliche Veränderungen im Netz zu kompensieren.

im Netz – z. B. bei einer Störabschaltung eines Generators – zu kompensieren und sicherzustellen, dass die Frequenz innerhalb der strikten



DAS AKTUELLE STROMNETZ



DAS ZUKÜNFTIGE STROMNETZ





02

—  
01 Mit der zunehmenden Einbindung erneuerbarer Energiequellen wandelt sich die Topologie des Stromnetzes von einer pyramidenförmigen zu einer vernetzten Struktur.

—  
02 Der rotierende Phasenschieber von ABB.

Grenzwerte bleibt (eine verminderte Frequenz kann zur Abschaltung anderer Systeme wie etwa leistungselektronischer Geräte und schließlich zu einem Stromausfall führen). Man kann sich die Massenträgheit im Netz wie die Stoßdämpfer eines Autos vorstellen, die plötzliche Unebenheiten in der Fahrbahn ausgleichen, um das Auto sicher waagrecht und in der Spur zu halten. Ähnlich sind Stromnetze auf ihre Trägheitsreserven angewiesen, um im Gleichgewicht zu bleiben.

Wie kann nun die Massenträgheit in einem Stromnetz erhalten werden, wenn immer mehr Generatoren mit hoher Trägheit wegfallen? Die Antwort liefern rotierende Phasenschieber.

#### Phasenschieber stabilisieren das Netz

Ein Phasenschieber ist eine große rotierende Maschine, die physische Trägheit bereitstellt, um sofortige Unterstützung für das Netz zu leisten und die Stabilität des Netzes unabhängig von der eingehenden Spannung und Frequenz zu erhalten →02–03.

Im Wesentlichen ist ein rotierender Phasenschieber ein Motor ohne aktive Last bzw. ein Generator ohne Antriebsmaschine. Außer für den Anwurfmotor und ein mögliches zusätzliches Schwungrad müssen keine Wellenenden aus dem Phasenschieber herausragen.

Vor 50 Jahren und früher waren rotierende Phasenschieber in der Energiewirtschaft wesentlich verbreiteter als heute, da ihre vornehmliche Funktion – die Blindleistungskompensation – mittlerweile von verschiedenen anderen Lösungen erfüllt wird.

Ein rotierender Phasenschieber liefert genau die Menge an Trägheit, die benötigt wird, um Frequenzschwankungen entgegenzuwirken – rein elektromechanisch, ohne die Steuerungssysteme und Algorithmen, die für andere Stabilisierungsmethoden erforderlich sind.

Doch die Fähigkeiten eines rotierenden Phasenschiebers beschränken sich nicht nur auf die Blindleistungskompensation. Mit anderen

—  
Der Phasenschieber liefert die notwendige Trägheit, um Frequenzschwankungen entgegenzuwirken.

Worten, bei der Netzstabilisierung geht es häufig um mehr als nur darum, Blindleistung einzuspeisen oder aufzunehmen, und ein rotierender Phasenschieber ist in der Lage, diese zusätzliche Leistungsfähigkeit zu bieten.

#### Zusätzliches Schwungrad

Wird in einem System zusätzliche Massenträgheit benötigt, kann die Konfiguration um weitere rotierende Phasenschieber ergänzt werden. Eine effektivere und ökonomischere Möglichkeit besteht jedoch darin, den Phasenschieber um ein Schwungrad zu ergänzen. Die Kombination eines mittelgroßen Phasenschiebers mit einem Schwungrad bietet den Vorteil, dass sie die verfügbare Massenträgheit um ein Vielfaches

erhöht. Darüber hinaus erhöht sich das Potenzial zur Reduzierung von Verlusten im Vergleich zur Installation eines größeren Phasenschiebers.

In einer Anordnung, in der zwei mittelgroße rotierende Phasenschieber über einen Dreiwicklungstransformator miteinander verbunden sind, stellt die Nutzung von Schwungrädern eine

—  
**ABB hat das Schwungrad mit einer zum Patent angemeldeten integrierten Sicherung versehen.**

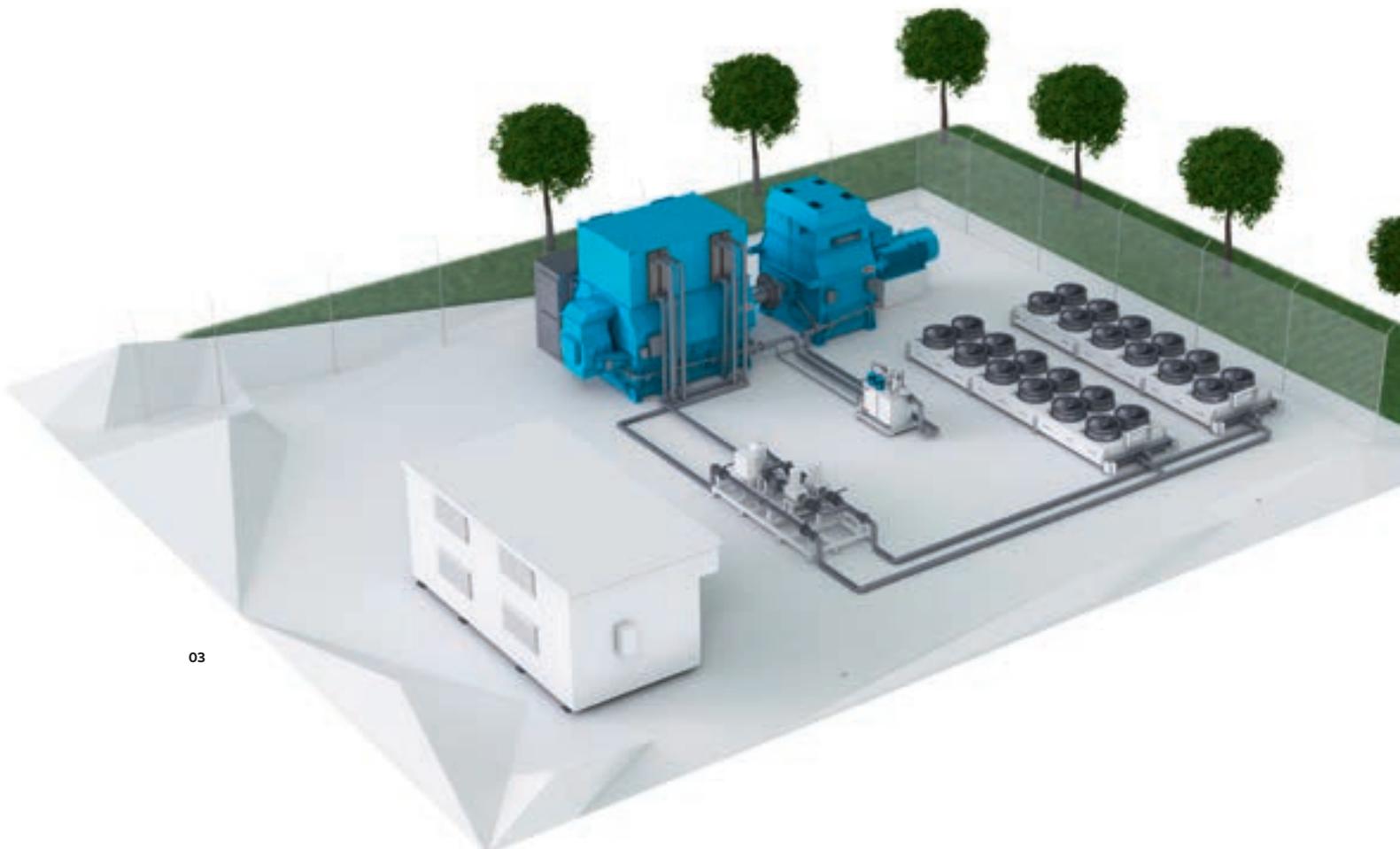
kostengünstige Möglichkeit dar, um nicht nur die verfügbare Massenträgheit signifikant zu vergrößern, sondern gleichzeitig auch die Redundanz zu erhöhen, die Wartungsanforderungen zu reduzieren und eine bessere Steuerbarkeit zu erreichen.

#### **Sichere Umhausung**

Da ein großer rotierender Phasenschieber eine beträchtliche Menge Energie speichern kann,

sollte bei der Konzeption einer solchen Anlage auf ein Höchstmaß an Sicherheit und eine korrekte Behandlung potenzieller Risiken geachtet werden. Risiken definieren sich für gewöhnlich als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung, weshalb das Schwungradesign der rotierenden Phasenschieber von ABB darauf ausgelegt ist, diese beiden Aspekte zu minimieren. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines unerwünschten Ereignisses wird durch ein sicheres Design, umfassende Tests und bewährte Materialien reduziert, während die potenziellen Auswirkungen mithilfe zuverlässiger Schutzrichtungen begrenzt werden.

Um eine effiziente Planung, eine effiziente Inbetriebnahme und einen effizienten Betrieb zu gewährleisten, hat sich ABB entschlossen, das Schwungrad für den rotierenden Phasenschieber mit einer zum Patent angemeldeten integrierten Sicherung zu versehen, anstatt auf externe Schutzfunktionen zu setzen. Die Sicherung umschließt das Schwungrad und ist ähnlich dimensioniert wie die eines Stators, der den Rotor einer elektrischen Maschine umschließt.





04

— 03 Typische Konfiguration eines rotierenden Phasenschiebers.

— 04 Die zwei rotierenden Phasenschieber von ABB im Solarpark von Darlington Point.

— 05 Luftbild der beiden Phasenschieber in Darlington Point mit den dazugehörigen elektrischen Anlagen.



05

### Netzunterstützung in der Praxis

Der Solarpark von Darlington Point im australischen Bundesstaat New South Wales ist mit einer Leistung von 275 MW (AC) und 333 MW (DC) der zurzeit größte mit dem australischen Stromnetz verbundene Solarpark. Um die Stabilität des

—  
Es ist zu erwarten, dass der Bedarf an rotierenden Phasenschiebern weiter zunehmen wird.

bewährte Lösung, die nahezu augenblicklich aktiviert werden kann, um – auch in entlegenen Gebieten – schwache oder gestörte Netze zu stärken. Die Maschinen bieten eine ganze Reihe von Vorteilen wie Unterstützung bei der Frequenzstabilisierung, Spannungsregelung und Bereitstellung von Kurzschlussstrom zur Fehlerbehebung. Dies sind alle Funktionen, deren Umsetzung sich allein mithilfe von Leistungselektronischen Systemen schwierig gestalten kann.

Es ist zu erwarten, dass der Bedarf an rotierenden Phasenschiebern weiter zunehmen wird, während Netzbetreiber neue Möglichkeiten suchen, um Netzqualitätsprobleme in den Griff zu bekommen und eine zuverlässige und kontinuierliche Versorgung zu gewährleisten. Neben ganz neuen Systemen können rotierende Maschinen von stillgelegten konventionellen Kraftwerken genutzt werden, um eine Trägheitsreserve für die Netzstabilisierung bereitzustellen. Innerhalb der nächsten zehn Jahre werden voraussichtlich mehrere Hundert neue rotierende Phasenschieber entweder allein oder in Kombination mit statischen Leistungselektronischen Geräten implementiert werden. •

### Literaturhinweis

[1] World Economic Forum mit Unterstützung von McKinsey & Company: „Fostering Effective Energy Transition A Fact-Based Framework to Support Decision-Making“. Verfügbar unter: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Fostering\\_Effective\\_Energy\\_Transition\\_report\\_2018.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_report_2018.pdf) (abgerufen am 09.09.2022).

lokalen Stromnetzes angesichts des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien in diesem Teil des Landes zu verbessern, wurden dort zwei rotierende Phasenschieber von ABB als integraler Bestandteil der Anlage installiert →04–05.

### Blick in die Zukunft

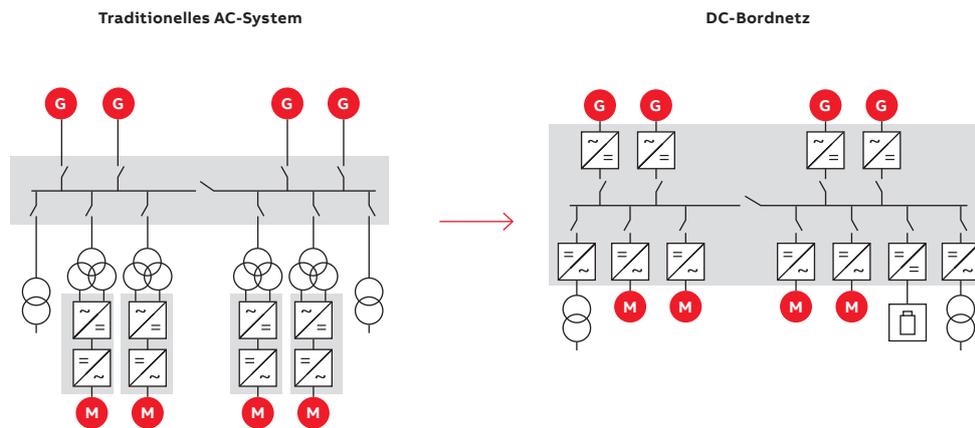
Die Stromnetze der Zukunft erfordern dezentrale Lösungen zur Erhaltung der Netzstabilität und -resilienz. Rotierende Phasenschieber sind eine

—  
HALBLEITERBASIERTER SCHUTZ FÜR DC-BORDNETZE

# Sicher an Bord

Eine Gleichstromverteilung an Bord von Schiffen bietet viele Vorteile, die die Entwicklung entsprechender DC-Bordnetze vorantreiben. Dazu ist ein optimaler Schutz gegen mögliche elektrische Fehler erforderlich. ABB hat den halbleiterbasierten Leistungsschalter SACE Infnitus entwickelt, um ein Höchstmaß an Schutz, Sicherheit und Betriebskontinuität zu gewährleisten.





02

**Treibende Faktoren der DC-Evolution:**

- ~80 % Verbraucher mit Frequenzumrichtern
- Energiespeicherung ist größtenteils DC-basiert
- AC erfordert Synchronisierung
- Mehrwicklungs-Transformatoren zur Speisung von Mehrphasen-Umrichtern

01 DC-Verteilnetze werden auf Schiffen immer populärer. Dies zeigt auch das innovative, leichte und kompakte System, das ABB zur Steuerung des Energieflusses auf dieser in einem norwegischen Fjord eingesetzten Fähre bereitgestellt hat.

02 Treibende Faktoren für die Entwicklung von DC-Verteilnetzen auf Schiffen.

Während sich die Schifffahrt bemüht, ihre Flexibilität und Energieeffizienz zu verbessern, um Nachhaltigkeits- und Leistungsziele zu erreichen, werden insbesondere auf kleinen und mittelgroßen Schiffen und Fähren immer mehr konventionelle Systeme zur Energieerzeugung und -verteilung durch hybride oder vollelektrische Architekturen ersetzt. Bei vollelektrischen

Basis einer optimierten Halbleitertechnologie, der alle typischen Herausforderungen beseitigt und eine sichere und effiziente DC-Verteilung an Bord ermöglicht.

**Warum DC-Verteilung?**

Mehrere entscheidende Faktoren treiben heute die Entwicklung von DC-Bordnetzen voran →02:

- Hybride und vollelektrische Konfigurationen sind auf Energiespeichersysteme (z. B. Batterien) angewiesen, die größtenteils DC-basiert sind.
- Die meisten Lasten erfordern eine Versorgung der Motoren über Frequenzumrichter, um eine Regelung der Drehzahl durch Veränderung von Frequenz und Spannung zu ermöglichen →02. Typischerweise nutzen Frequenzumrichter einen doppelten Umwandlungsprozess, d. h. bei Verwendung einer DC-Verteilung kann einer der zwei Umwandlungsschritte entfallen.
- Bei einer AC-Verteilung benötigen Mehrphasen-Umrichter eine Versorgungsspannung mit einer anderen Phasenverschiebung (die von Mehrwicklungstransformatoren bereitgestellt wird).
- In einem AC-System ist eine Synchronisierung (zur Anpassung der Frequenz usw.) notwendig, z. B. wenn Generatoren mit der Hauptsammelschiene parallel geschaltet werden oder zwei Stromquellen durch Schließen einer Sammelschienenkupplung zusammengeschaltet werden.

## DC-Bordnetze setzen sich immer mehr gegen traditionelle AC-Verteilnetze durch.

Systemen werden die Elektromotoren allein durch effiziente Hochleistungsbatterien betrieben, wohingegen bei hybriden Systemen eine Kombination aus Batteriespeichersystemen und mit Kraftstoffen betriebenen Generatoren zum Einsatz kommt. In dieser zunehmend elektrifizierten Welt setzen sich DC-Netze als bevorzugtes System zur Energieverteilung an Bord immer mehr gegen traditionelle AC-Verteilnetze durch.

Eine DC-Verteilung bietet viele Vorteile, ist aber auch mit einzigartigen Herausforderungen verbunden. Diese reichen vom Schutz leistungselektronischer Stromrichter über die Erkennung und Unterbrechung von Kondensator-Entladeströmen und die Selektivität zwischen Abschaltvorrichtungen bis hin zur Isolierung fehlerhafter Zonen. ABB hat sich eingehend mit diesen Herausforderungen befasst und eine optimierte Lösung entwickelt.

Das Ergebnis ist eine Blaupause für einen revolutionären All-in-one-Leistungsschalter auf

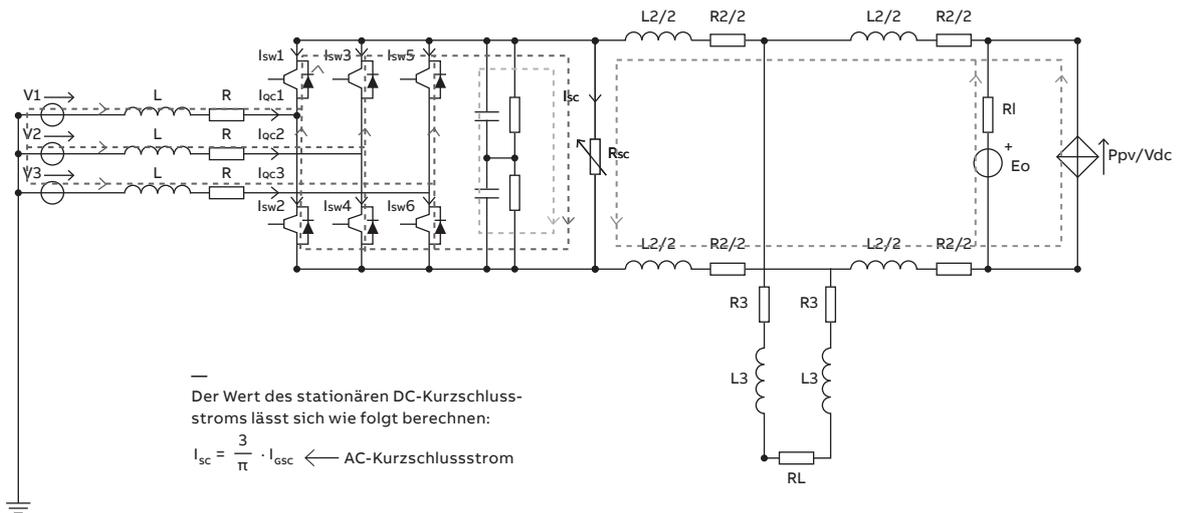


**Marco Carminati**  
ABB Electrification  
Bergamo, Italien

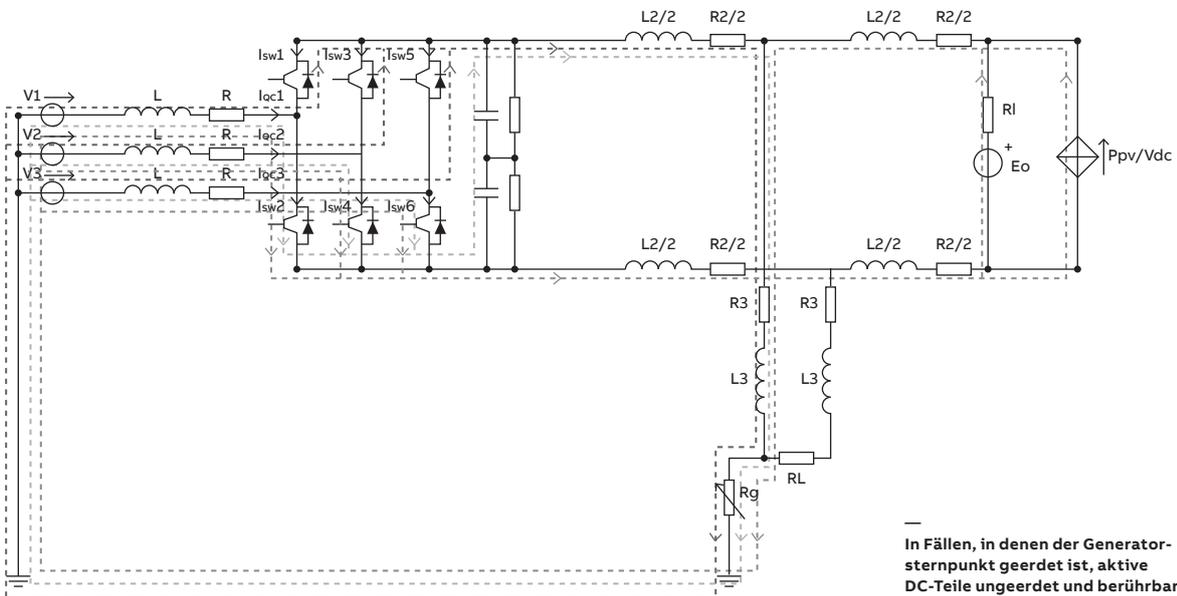
marco.carminati@  
it.abb.com

**Komplexe Schutzanforderungen**

Eine DC-Verteilung erfordert anspruchsvolle Schutzmaßnahmen, wohingegen der Schutz bei AC-Verteilungen relativ einfach ist. Schließlich ermöglicht der natürliche Nulldurchgang des Wechselstroms eine einfache Stromunterbrechung sowohl im normalen Betrieb als auch im Fehlerfall. Gleichstrom hingegen hat keinen natürlichen Nulldurchgang und muss daher

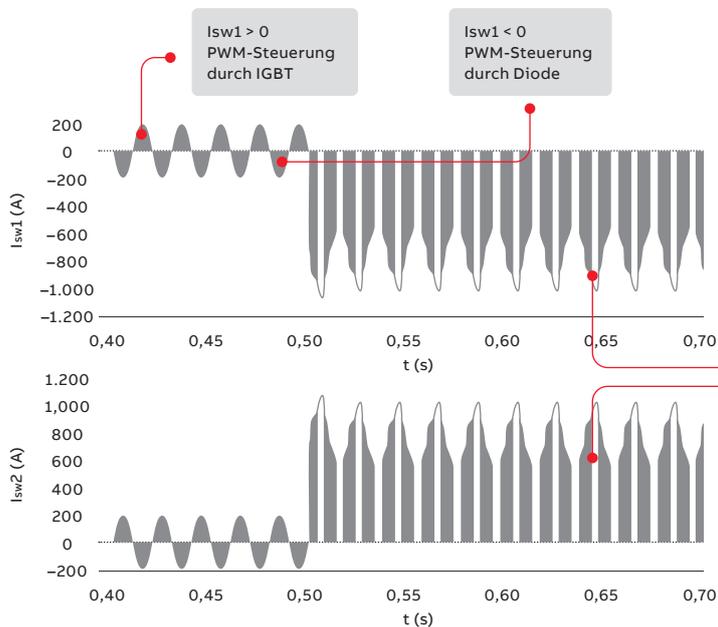


03



In Fällen, in denen der Generatorsternpunkt geerdet ist, aktive DC-Teile ungeerdet und berührbare leitfähige Teile geerdet sind:

- DC-Quellen speisen den Fehler durch die unteren IGBTs
- Der Beitrag der Generatoren fließt durch die oberen Freilaufdioden



04

auf null gezwungen werden, z. B. durch die Installation von in Reihe geschalteten Leistungsschalterpolen zur Erzeugung einer höheren Lichtbogenspannung.

—  
03 Reaktion des AC/DC-Wandlers bei einem DC-Kurzschluss.

—  
04 Reaktion des AC/DC-Wandlers bei einem DC-Erdschluss, wenn der Generatorsternpunkt geerdet ist, aktive DC-Teile ungeerdet sind und berührbare leitfähige Teile geerdet sind.

—  
05 Reaktion des AC/DC-Wandlers bei einem DC-Kurzschluss und -Erdschluss unter Berücksichtigung des Wandler-Schutzeffekts (DESAT) in verschiedenen Fällen.

Da AC seit vielen Jahren der Marktstandard ist, sind entsprechende Schutzsysteme ausgeprägt und einfach zu haben. Die DC-Verteilung an Bord von Schiffen ist hingegen vergleichsweise neu und noch nicht in gleicher Breite auf dem Markt erhältlich. Hinzu kommt, dass eine chronoamperometrische Schutzselektivität zwischen mehreren Schutzeinrichtungen bei DC-Verteilungssystemen problematisch ist. Dies ließe sich zwar mit Leistungsschaltern mit elektronischen Auslöseinheiten lösen, doch bislang stehen nur wenige solche Geräte für die DC-Verteilung zur Verfügung.

### Probleme der AC-Verteilung

Trotz ihrer inhärenten Vorteile ist eine AC-Verteilung auch mit erheblichen Nachteilen verbunden. Ein bedeutender Aspekt ist die geringere Leistungsübertragungsfähigkeit aufgrund höherer Leistungsverluste, insbesondere bei einem niedrigen Leistungsfaktor. Und werden die Verbrennungsmotoren mit einer festen Drehzahl betrieben, weil die Generatoren Strom mit einer festen Frequenz erzeugen sollen, mindert dies die Effizienz der

Motoren. Hinzu kommen mögliche Probleme mit der Spannungsqualität aufgrund erhöhter Oberschwingungen. Außerdem muss der Blindleistungsfluss durch das gesamte Verteilungssystem geregelt werden.

### Vorzüge der DC-Verteilung

DC-Verteilungen zeichnen sich durch eine größere Einfachheit und höhere Effizienz sowie einen einfachen Anschluss an Stromquellen wie Batteriespeichersysteme und Generatoren aus. Batterien können direkt oder über DC/DC-Wandler an die DC-Hauptsammelschiene angeschlossen werden. Eine Synchronisierung ist nicht erforderlich, da Generatoren durch einen AC/DC-Wandler über einen IGBT (Bipolartransistor mit isoliertem Gate) an die DC-Hauptsammelschiene angeschlossen werden. Generatoren mit variabler Frequenz

—  
**ABB hat sich eingehend mit den Herausforderungen befasst und eine optimierte Lösung entwickelt.**

können ebenfalls verwendet werden, um Kraftstoff zu sparen, da die Antriebsmaschine mit maximalem Wirkungsgrad betrieben werden kann. Dank des geringeren Volumens/Gewichts von Hochfrequenz-Generatoren und der geringen Anzahl benötigter Systemkomponenten wird zudem Platz eingespart. Weniger zirkulierende Oberschwingungen bedeuten weniger Probleme mit der Spannungsqualität und eine bessere elektromagnetische Verträglichkeit. Eine Regelung des Blindleistungsflusses ist nicht notwendig. Auch die Leistungsverluste fallen geringer aus, weil ein Umwandlungsschritt zur Versorgung von Lasten mit variabler Frequenz entfällt. Alle diese Vorteile sprechen für eine DC-Verteilung.

### DC-Kurzschlussanalyse

Angesichts der Einfachheit und Effizienz scheint eine DC-Verteilung also die ideale Lösung – vorausgesetzt, ein geeigneter Schutz ist gegeben. Hierfür hat ABB einen neuen Maßstab erarbeitet. Zunächst wurden verschiedene Fehlerarten wie Kurzschluss und Erdschluss evaluiert. Dazu wurde ein Kurzschluss an der DC-Hauptsammelschiene analysiert, wobei der Kurzschluss durch seinen Fehlerwiderstand abgebildet werden kann (gleiches gilt für einen Kurzschluss an einem Abzweig). Als relevante Beiträge zum Fehlerstrom wurden betrachtet: DC-Quellen (z. B. Batterien), DC-Kondensatorentladungen, AC-Bordgeneratoren und nicht galvanisch getrennte IGBT-basierte AC/DC-Wandler →03.

#### — In Fällen, in denen der Generatorsternpunkt geerdet ist, aktive DC-Teile ungeerdet und berührbare leitfähige Teile geerdet sind:

Der integrierte IGBT-Schutz für einen DC-Kurzschluss ist:

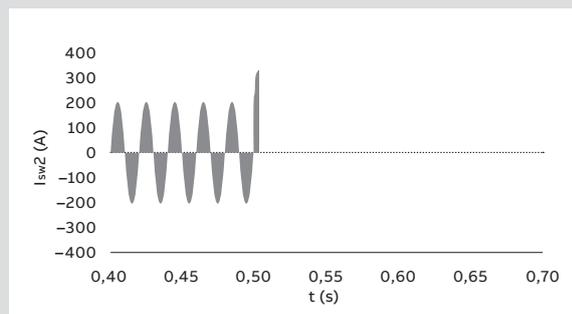
- unwirksam, da der Eingangsgleichrichter wie ein Diodengleichrichter funktioniert
- weder in der Lage, den Beitrag des Generators noch den der DC-Quellen zu begrenzen, da dieser nicht durch den Wandler fließt

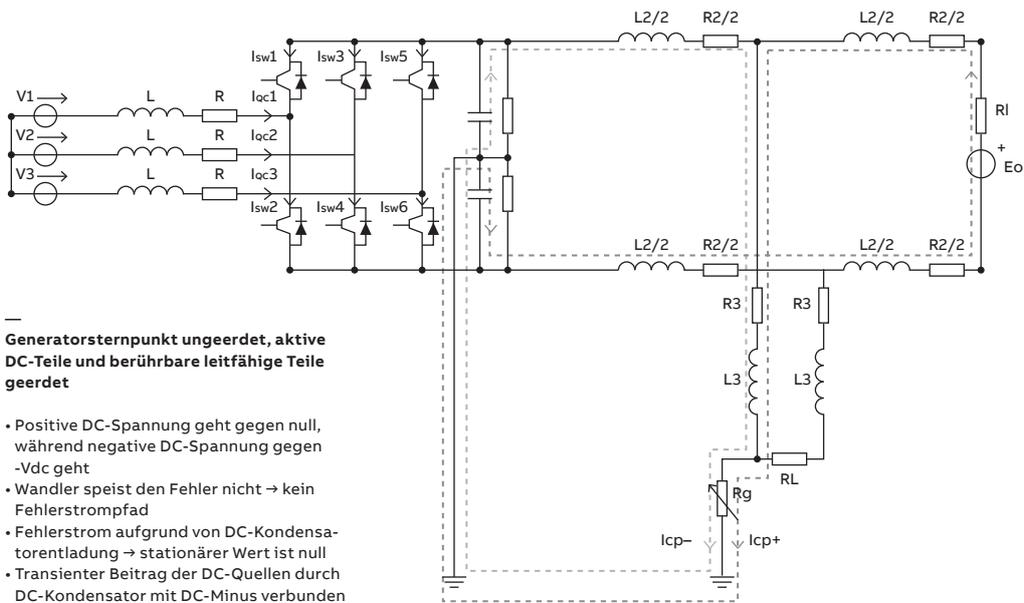
Integrierter IGBT-Schutz für einen DC-Erdschluss bedeutet, dass:

- der Fehler abgeschaltet wird, da der Beitrag der DC-Quellen nur im IGBT fließt
- der Erdschlussstrom aufgrund des Generatorbeitrags weiterhin hoch bleibt

#### — In Fällen, in denen der Generatorsternpunkt ungeerdet ist und aktive DC-Teile und berührbare leitfähige Teile geerdet sind:

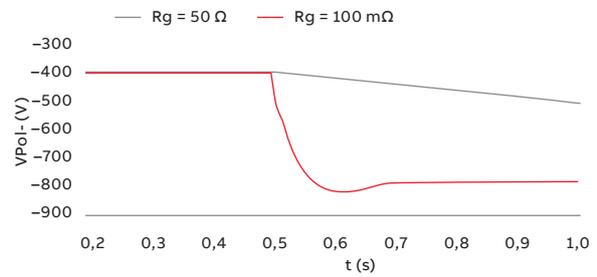
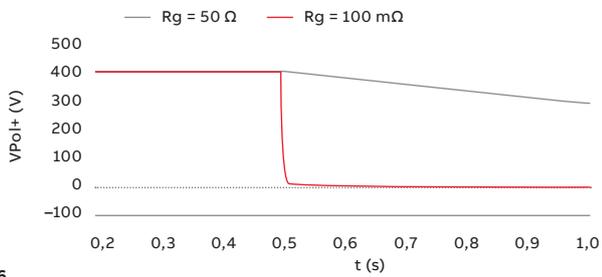
- entspricht ein Erdschluss einem DC-Kurzschluss in negativ geerdeten Systemen



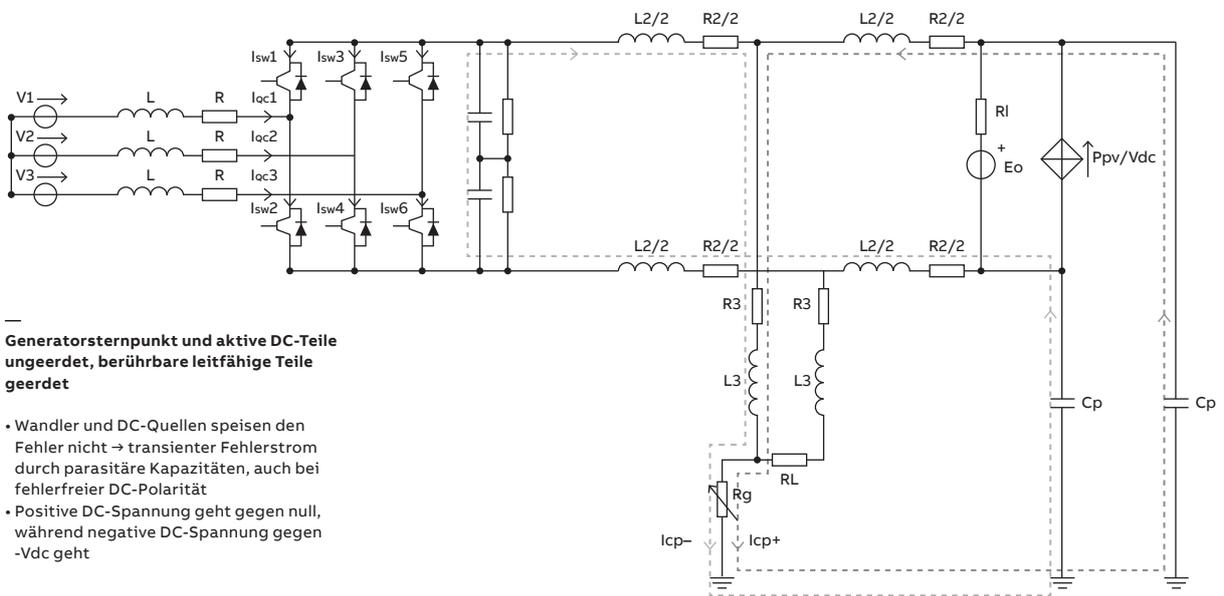


**Generatorsternpunkt ungeerdet, aktive DC-Teile und berührbare leitfähige Teile geerdet**

- Positive DC-Spannung geht gegen null, während negative DC-Spannung gegen -Vdc geht
- Wandler speist den Fehler nicht → kein Fehlerstrompfad
- Fehlerstrom aufgrund von DC-Kondensatorentladung → stationärer Wert ist null
- Transienter Beitrag der DC-Quellen durch DC-Kondensator mit DC-Minus verbunden

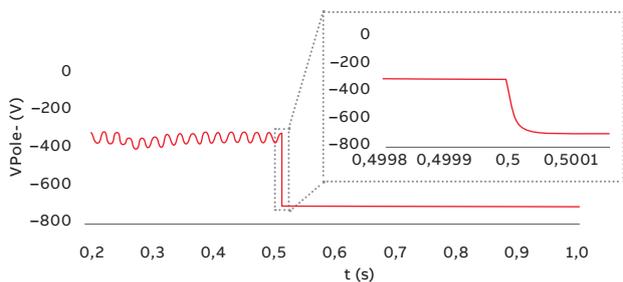
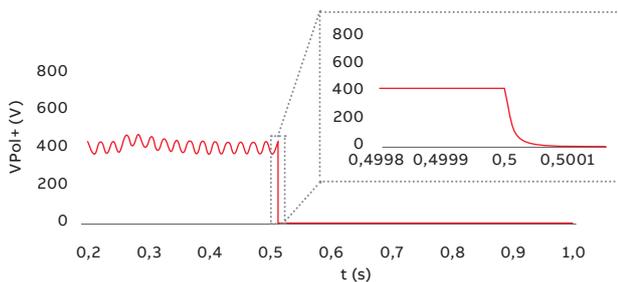


06



**Generatorsternpunkt und aktive DC-Teile ungeerdet, berührbare leitfähige Teile geerdet**

- Wandler und DC-Quellen speisen den Fehler nicht → transienter Fehlerstrom durch parasitäre Kapazitäten, auch bei fehlerfreier DC-Polarität
- Positive DC-Spannung geht gegen null, während negative DC-Spannung gegen -Vdc geht



07

—  
06 Reaktion des AC/DC-Wandlers bei einem DC-Erdschluss, wenn der Generatorsternpunkt ungeerdet ist und aktive DC-Teile und berührbare leitfähige Teile geerdet sind.

—  
07 Situation, in der der Generatorsternpunkt und aktive DC-Teile ungeerdet und berührbare leitfähige Teile geerdet sind.

Betrachtet man den schlimmsten Fall, einen satten Kurzschluss, ergibt sich Folgendes:

- Der Beitrag der DC-Kondensatorentladung kann hoch ausfallen (bis zu mehrere Hundert kA), abhängig von der Kabel-/Sammelschienenimpedanz zwischen den Kondensatoren und dem Fehlerort (Entladestrom erreicht seinen Spitzenwert möglicherweise < 1 ms).
- Der Beitrag von den Batterien kann hoch sein, insbesondere bei Li-Ionen-Batterien, abhängig von der Gesamtnennleistung des Batteriesystems.
- Der nicht galvanisch getrennte Wandler kann den Kurzschlussstrom nicht begrenzen oder unterbrechen, da der Strom durch die Freilaufdioden fließt.
- Aus der in →03 aufgeführten Formel folgt, dass der stationäre DC-Kurzschlussstrom an den Anschlüssen des DC-Wandlers praktisch einem unbeeinflussten Kurzschlussstrom an den Anschlüssen des AC-Wandlers entspricht.
- Je größer die Anzahl von parallel geschalteten AC-Generatoren am DC-Bus ist, desto größer ist der gesamte DC-Kurzschlussbeitrag, der durch die Wandler fließt.

Sind nicht galvanisch getrennte uni- oder bidirektionale Aufwärtswandler installiert (d. h. die DC-Sammelschienen-Spannung ist höher als die Spannung der DC-Quellen), sind diese normalerweise nicht in der Lage, den Beitrag der DC-Quelle zu begrenzen, da der Strom durch die Freilaufdiode

## Der SACE Infinitus bietet sicheren, konsistenten und effizienten Schutz für DC-Bordnetze.

fließt. Daher sind geeignete Schutzeinrichtungen erforderlich, um die großen Fehlerstrombeiträge, insbesondere von Batterien und dem DC-Kondensator, zu erkennen und zu unterbrechen und die Wandler zu schützen.

### DC-Erdschlussanalyse

Ist der Generatorsternpunkt direkt oder über einen geringen Widerstand geerdet, sind die aktiven DC-Teile ungeerdet. Berührbare leitfähige Teile hingegen sind geerdet, um die Erkennung und Unterbrechung eines Erdschlusses zu ermöglichen, auch wenn niemand die fehlerhaften leitfähigen Teile berührt.

Berührbare leitfähige Teile können mithilfe von TT- oder TN-Systemen geerdet werden. Bei TT-Systemen sind aktive Teile geerdet und berührbare leitfähige Teile mit einem separaten Erdungssystem

verbunden. Bei TN-Systemen hingegen sind aktive Teile geerdet und berührbare leitfähige Teile mit demselben Erdungssystem verbunden. In TT-Systemen gibt es keinen möglichen Rückpfad für einen Fehlerstrombeitrag der DC-Quellen – sie speisen lediglich die Last, während Wandler die Last und den Erdschluss speisen. In einem TN-System besteht ein möglicher Rückpfad für den Fehlerstrombeitrag der DC-Quellen – sie speisen die Last und den Fehler, während Wandler nur den Erdschluss speisen. DC-Quellen speisen den Fehler durch die unteren IGBTs, wohingegen der Beitrag der Generatoren durch die oberen Freilaufdioden fließt →04.

Bei einem integrierten IGBT-Schutz kann der IGBT automatisch geöffnet werden, sobald der durchfließende Strom einen bestimmten Grenzwert erreicht. Betrachtet man den DC-Erdschluss in einem TN-System, ergibt sich Folgendes:

- Da der Beitrag der DC-Quellen nur in den unteren IGBTs des Wandlers fließt, kann ein solcher Beitrag dank des integrierten IGBT-Schutzes begrenzt und unterbrochen werden →05.
- Der Erdschlussstrom bleibt hoch aufgrund des Beitrags der Generatoren, der durch die oberen Freilaufdioden des Wandlers fließt.

Daher sind trotzdem geeignete Schutzeinrichtungen erforderlich, um den Fehlerstrombeitrag der Generatoren zu unterbrechen und die Wandler durch eine hohe Unterbrechungsgeschwindigkeit zu schützen.

Ist der Generatorsternpunkt ungeerdet oder über einen hohen Widerstand geerdet und sind die aktiven DC-Teile und berührbaren leitfähigen Teile geerdet, entspricht ein Erdschluss an der positiven Polarität im Hinblick auf die Fehlerstrombeiträge und das Wandlerverhalten einem DC-Kurzschluss. Damit gelten die Überlegungen für das DC-Kurzschlussereignis auch für den DC-Erdschlussfall →05.

Ist der Generatorsternpunkt ungeerdet oder über einen hohen Widerstand geerdet und sind der DC-Mittelpunkt und berührbare leitfähige Teile geerdet, gilt bei einem Erdschluss Folgendes →06:

- Die Spannung der fehlerhaften DC-Polarität gegen Erde geht gegen null, während die Spannung der fehlerfreien DC-Polarität gegen Erde ins Negative der DC-Nennspannung geht.
- Der AC/DC-Wandler speist den Fehler nicht, da es keinen Fehlerstrompfad gibt.
- Es besteht ein hoher transienter Beitrag durch DC-Kondensatorentladung, doch der stationäre Wert ist null.
- Der transiente Beitrag der DC-Quellen durch den DC-Kondensator ist mit der fehlerfreien Polarität verbunden.

Gleichwohl kann der Anstieg der Spannung der fehlerfreien Polarität gegen Erde zu Iso-

—  
08 Der halbleiterbasierte Leistungsschalter SACE Infnitus von ABB.

08a Der SACE Infnitus ist eine All-in-one-Lösung, die Steuerung und Schutz für DC-Systeme bietet.

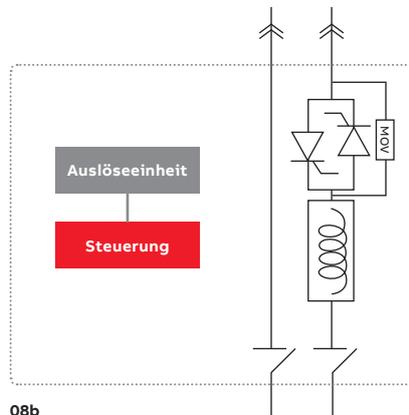
08b Innerer Aufbau des SACE Infnitus.

08c Innerer Aufbau des SACE Infnitus in der Back-to-Back-Konfiguration.

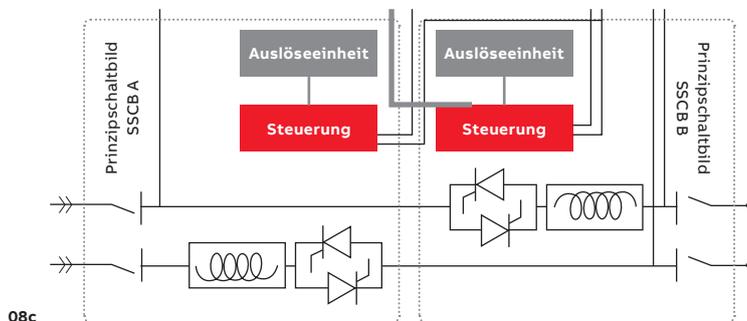
—  
09 Mit dem SACE Infnitus sind solche Fähren in der Lage, norwegischen Fjorde und andere Gewässer nachhaltig und sicher zu befahren, da sich die neuen DC-Netzarchitekturen nun noch einfacher integrieren, schützen und steuern lassen.



08a



08b



08c

lationsproblemen führen. Geeignete Schutz-einrichtungen sind erforderlich, um den hohen DC-Kondensatorentladestrom zu erkennen und zu unterbrechen.

Sind der Generatorsternpunkt und die aktiven DC-Teile ungeerdet oder über einen hohen Widerstand geerdet und berührbare leitfähige Teile geerdet, gilt bei einem Erdschluss Folgendes →07:

- Die AC/DC-Wandler und DC-Quellen speisen den Fehler nicht.
- Es besteht ein transienter Fehlerstrom durch parasitäre Kapazitäten, auch wenn die DC-Polarität fehlerfrei ist.
- Wie zuvor geht die Spannung der fehlerhaften DC-Polarität gegen Erde gegen null, während die Spannung der fehlerfreien DC-Polarität

gegen Erde zwischen dem halben und dem gesamten Wert der DC-Nennspannung variieren kann.

### Bewältigung komplexer Herausforderungen

Die Ergebnisse zeigen, dass für anspruchsvolle Anwendungen an Bord von Schiffen ein vollständiger Fehlerschutz erforderlich ist. ABB hat dieses Wissen mit neuen Ideen und Analysen kombiniert und den halbleiterbasierten Leistungsschalter SACE Infnitus →08a entwickelt, dessen RB-IGCT-Technologie sich im Vergleich zu vorherigen Technologien durch 70 % geringere Leistungsverluste auszeichnet →08b. Der SACE Infnitus bietet sicheren, konsistenten und effizienten Schutz für DC-Bordnetze [1], auch in der Back-to-Back-Konfiguration als Sammelschienen-Kuppelschalter →08c.

—  
Der halbleiterbasierte Leistungsschalter erfüllt sämtliche Anforderungen der IEC 60947-2.

Der SACE Infnitus ist für einen Nennstrom von bis zu 2,5 kA und eine Nennspannung von 1 kV DC ausgelegt und in der Lage, die fehlerhafte Zone vollständig und sicher zu isolieren, den Fehler sehr schnell abzuschalten und die negativen Auswirkungen im fehlerhaften Abschnitt durch Begrenzung des Kurzschlusses zu reduzieren sowie die Versorgung im fehlerfreien Abschnitt aufrechtzuerhalten. Außerdem sorgt er für eine rasche Rekonfiguration des Systems, um eine schnelle Wiederversorgung der kritischen Lasten zu gewährleisten. Im Gegensatz zu anderen Leistungsschaltern verursacht der SACE Infnitus keine Effizienz- oder Leistungsverluste und funktioniert gut in Konfigurationen mit geschlossener Sammelschiene. Darüber hinaus ist der Leistungsschalter vollständig in andere Schutzsystemkomponenten und Steuerungs-/Managementsysteme integrierbar. Der SACE Infnitus ist der weltweit erste halbleiterbasierte Leistungsschalter, der die strengen Zertifizierungsanforderungen der IEC 60947-2 vollständig erfüllt.

Mit dem SACE Infnitus bietet ABB eine neue Lösung für die Steuerung, den Schutz und die Integration von DC-Netzarchitekturen an Bord von Schiffen. Der revolutionäre halbleiterbasierte Leistungsschalter verbindet Betriebskontinuität und Sicherheit mit äußerst geringen Betriebskosten in einem integrierten Paket, das der Schifffahrt zu mehr Nachhaltigkeit und Energieeffizienz verhilft →09. •

#### Literaturhinweis

[1] A. Antoniazzi et al.: „Der erste seiner Art“. ABB Review 4/2022, S. 14–19.





## BUZZWORDS ENTSCHLÜSSELT

# OPC UA

OPC steht für Open Platform Communications und ist einer der wichtigsten Kommunikationsstandards für die Industrie 4.0 und das industrielle Internet der Dinge (IIoT).



**Michelle Kiener**  
ABB Review  
Zürich, Schweiz

michelle.kiener@  
ch.abb.com

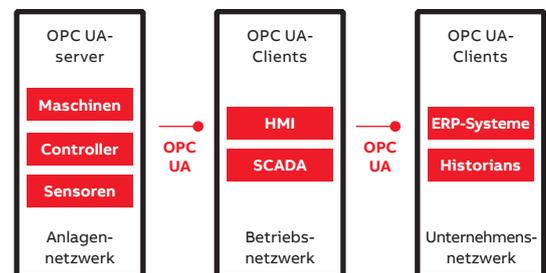
OPC standardisiert den Zugriff auf Maschinen, Geräte und andere Systeme im industriellen Umfeld und ermöglicht einen herstellerunabhängigen Datenaustausch in der Industrieautomation und anderen Bereichen. Die Spezifikationen umfassen separate Definitionen für die Übertragung von Prozessdaten, Alarmen und historischen Daten:

- **OPC DA (Data Access)** definiert den Austausch von Daten einschließlich Werten, Zeit- und Qualitätsinformationen
- **OPC AE (Alarms & Events)** definiert den Austausch von Alarm- und Ereignisinformationen sowie von variablen Zuständen und Zustandsmanagementinformationen.
- **OPC HDA (Historical Data Access)** definiert Methoden zur Abfrage und Analyse historischer, zeitgestempelter Daten.

Die Organisation hinter dem Standard ist die OPC Foundation, zu deren über 850 Mitgliedern auch ABB zählt. Die Vereinigung wurde 1994 gegründet und hat 1996 die erste Version des OPC-Standards herausgegeben. Eine Mitgliedschaft ist keine Voraussetzung für die Nutzung von OPC UA-Technologie.

### UA – Unified Architecture

Das UA in OPC UA steht für Unified Architecture und bezeichnet die neueste Spezifikation des Standards, die 2008 verabschiedet wurde. Obwohl OPC UA funktional seinem Vorgänger



01

entspricht, der nun als OPC Classic bezeichnet wird, erweitert und übertrifft ihn der neue Standard als plattformunabhängige, serviceorientierte Architektur [1], die sich unter anderem durch die Abkehr von COM/DCOM hin zu einer rein

UA steht für Unified Architecture und bezeichnet die neueste Spezifikation des OPC-Standards.

binären TCP/IP- oder alternativ einer SOAP-Kommunikation (Simple Object Access Protocol) auszeichnet. OPC UA integriert die gesamte Funktionalität der klassischen OPC-Spezifikationen in ein erweiterbares Framework. Die

### Literaturhinweis

[1] OPC Foundation: „Unified Architecture“. Verfügbar unter: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/> (abgerufen am 15.11.2022).

—  
01 OPC UA verbindet Dateninseln.

Integration von OPC UA-Produkten und OPC Classic-Produkten kann durch COM/Proxy-Wrappers erreicht werden, die von der OPC Foundation erhältlich sind.

Neben vielen weiteren Verbesserungen unterstützt OPC UA eine semantische Datenbeschreibung und wurde „Firewall-freundlich“ konzipiert, d. h. zur Verwaltung und Lenkung können standardmäßige Netzwerktechniken genutzt

## OPC UA erleichtert die Übertragung von Daten zwischen Systemen, Geräten und Sensoren.

werden. Zu den verwendeten Sicherheitsmechanismen für die Datenübertragung gehören unter anderem 128- oder 256-Bit-Verschlüsselung, Zertifikataustausch, Paket-Sequenzierung und Nachrichtensignierung.

Die mehrschichtige Architektur von OPC UA soll einen „zukunftsicheren“ Rahmen bereitstellen, in den z. B. neue Sicherheitsalgorithmen oder Transportprotokolle eingebunden werden können, wobei gleichzeitig die Rückwärtskompatibilität erhalten bleibt.

In Unternehmen gibt es immer „Dateninseln“, die einen Informationsaustausch erschweren. OPC UA schafft hier Abhilfe und erleichtert die Übertragung von Daten zwischen Unternehmenssystemen, Überwachungsgeräten und Sensoren, die mit realen Daten interagieren →01. Eines der Hauptmerkmale von OPC UA ist, dass es auf verschiedensten Komponenten von einfachen Sensoren über winzige Embedded-Controller bis hin zu Highend-Servern unterstützt werden kann. Dies macht OPC UA zu einem wichtigen und nützlichen Standard, der verbreitet eingesetzt werden kann, um Dateninseln zu verbinden und den Datenaustausch zwischen ihnen zu ermöglichen. •

### — ABONNEMENT

#### — ABB Review abonnieren

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

Die ABB Review erscheint seit 1914; aktuell viermal pro Jahr in Englisch, Deutsch und Chinesisch und wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind.

#### — Bleiben Sie auf dem Laufenden ...

Haben Sie eine ABB Review verpasst? Melden Sie sich unter [abb.com/abbreview](http://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.

### — FRANZÖSISCHE UND SPANISCHE VERSION

Mit Bedauern haben wir beschlossen, die französische und spanische Version der ABB Review einzustellen. Ab der Ausgabe 1/2023 ist die Zeitschrift nur noch auf Englisch, Deutsch und Chinesisch erhältlich. Wenn nicht anders verlangt, erhalten Abonnenten der eingestellten Sprachen die englische Version. Wenn Sie Ihre Präferenzen ändern möchten, können Sie uns dies unter [abb.com/abbreview](http://abb.com/abbreview) mitteilen.

### — IMPRESSUM

#### — Editorial Board

##### Bernhard Eschermann

Chief Technology Officer, ABB Process Automation

##### Paul Singer

Chief Technology Officer, ABB Electrification

##### Niclas Sjostrand

Chief Technology Officer, ABB Robotics

##### Panu Virolainen

Chief Technology Officer, ABB Motion

##### Amina Hamidi

Global Product Group Manager, Division Measurement & Analytics, ABB Process Automation

##### Daniel Smith

Head of Media Relations

##### Adrienne Williams

Senior Sustainability Advisor

##### Reiner Schoenrock

Technology and Innovation

##### James Macaulay

Senior Director, Communications & Thought Leadership

##### Andreas Moglestue

Chief Editor, ABB Review [andreas.moglestue@ch.abb.com](mailto:andreas.moglestue@ch.abb.com)

##### Michelle Kiener

Managing Editor, ABB Review

#### — Herausgeber und Copyright

Die ABB Review wird herausgegeben von: ABB Switzerland Ltd. Group Technology Management Bruggstr. 66 5400 Baden Schweiz [abb.review@ch.abb.com](mailto:abb.review@ch.abb.com)

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

#### — Druck

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH Dornbirn, Österreich

#### — Layout

Publik. Agentur für Kommunikation GmbH Mannheim, Deutschland

#### — Satz

Indicia Worldwide London, Großbritannien

#### — Übersetzung

Thore Speck 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.

1/2023 ist die 900. Ausgabe der ABB Review.

ISSN: 1013-3119

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

Nächste Ausgabe  
02/2023  
Erweitertes Wissen



---

# Willkommen in einer Welt von Innovatoren.

Je mehr Menschen fähig sind, die Zukunft  
zu gestalten, desto besser wird sie werden.  
Sehen Sie warum unter [go.abb/progress](https://go.abb/progress)

**ABB**