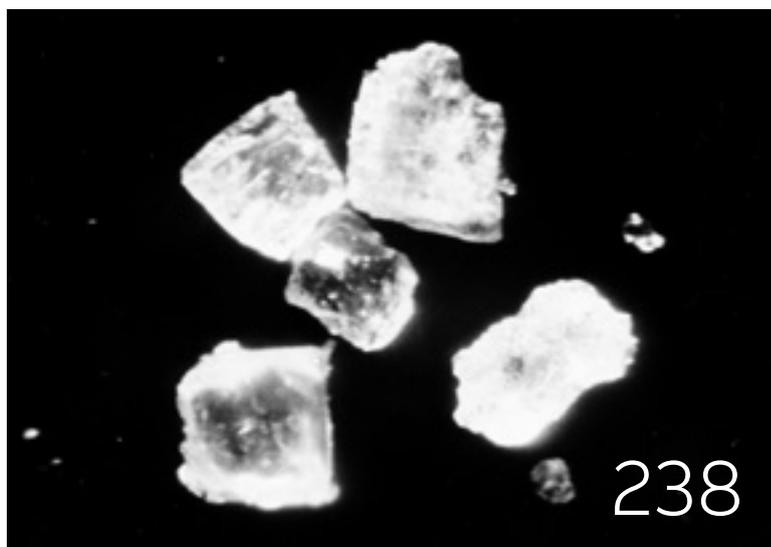


review

EINE DER AM LÄNGSTEN
ERSCHEINENDEN
FACHZEITSCHRIFTEN DER WELT

04|2023 de

Erkennung und Analyse



238–247 140 Jahre ASEA
248–277 Sehen und Erkennen
278–300 Angewandte KI



140 Jahre ASEA



Wahlverwandtschaften

In der richtigen Spur



237 Editorial

Pionierleistungen

238 140 Jahre ASEA

Sehen und Erkennen

- 250 **Veränderte Sicht auf die Dinge**
Ein Vision-System zur Unterstützung des Ausgucks auf Schiffen
- 256 **Das Multitalent**
Echtzeit-Messung von Gasverunreinigungen durch laserbasierte spektroskopische Analyse
- 262 **Wahlverwandtschaften**
Betriebliche Optimierung von drehzahlgeregelten Antriebssystemen
- 268 **Integrierte Lösungen**
Die Zukunft der Elektrifizierung im Bergbau
- 274 **Erweiterung des Sicherheitsnetzes**
SIEM bringt Cybersicherheit in den OT-Bereich

Angewandte KI

- 280 **Intelligente Verteilung**
Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung
- 290 **Flexibler Ladepreis**
Dynamische Preisfindung für das Laden von E-Fahrzeugen mithilfe von Reinforcement Learning
- 296 **In der richtigen Spur**
Zustandsspezifische Assistenz für kontinuierliche Prozesse

Index 2023

- 301 **Stichwortindex 2023**
304 **Index 2023**

Buzzwords entschlüsselt

- 306 **Gaia-X**
-
- 307 **Abonnement**
307 **Französische und spanische Version**
307 **Schwedische Ausgabe**
307 **Impressum**

Seitennummerierung

Die ABB Review verwendet ab diesem Jahr wieder die für wissenschaftliche Zeitschriften übliche jahrgangswise Seitennummerierung. Wir hoffen, damit unserer wissenschaftlichen Leserschaft das Zitieren zu erleichtern. Siehe hierzu auch den Stichwortindex auf S. 301–303 dieser Ausgabe.

Artikel teilen

Sie denken, ein Artikel könnte für eine Kollegin oder einen Freund interessant sein? Ab der Ausgabe 03/2023 finden Sie für gewöhnlich auf der letzten Seite jedes Artikels einen individuellen QR-Code, der ein einfaches Teilen von Inhalten ermöglicht.

Korrigenda

„Klabin und ABB: Eine nachhaltige Partnerschaft“, *ABB Review* 03/2023, S. 200–205: Auf S. 203 muss es statt „800.000 MWh in das brasilianische Netz“ heißen: „800.000 MWh jährlich in das brasilianische Netz“.

„Umschalten auf E: Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Umstellung auf Elektrofahrzeuge“, *ABB Review* 03/2023, S. 168–171: Auf S. 171 muss es statt „die ABB seit ihrer Gründung als Sponsor unterstützt“ heißen: „die ABB seit 2018 als Titelsponsor und mittlerweile auch als offizieller Ladepartner unterstützt“. Die Legende zu Bild 04 muss lauten: „ABB ist Titelpartner der ABB FIA Formel E Weltmeisterschaft“. In der Legende zu Bild 05 muss es statt „kommt bei der im Rahmenprogramm der Formel E ausgetragenen Jaguar I-Pace eTrophy zum Einsatz“ heißen: „kam 2018–2020 bei der im Rahmenprogramm der Formel E ausgetragenen Jaguar I-Pace eTrophy zum Einsatz“.

Diese Ausgabe der ABB Review teilen



Erkennung und Analyse

Welche technischen Innovationen von heute sind die Standards von morgen? Diese Ausgabe der ABB Review beginnt mit einem Rückblick auf ASEA, das „A“ in ABB, und befasst sich mit den vielen Pionierleistungen dieses Unternehmens in Bereichen wie Stromübertragung, Robotik und synthetische Diamanten.

Nach dem Motto „die Zukunft beginnt heute“ zeigen wir außerdem, wie ABB-Lösungen von heute Daten auf innovative Weise erfassen und mithilfe der KI nutzbringend umsetzen.

EDITORIAL

Erkennung und Analyse



Liebe Leserin, lieber Leser,

Sensoren sind die Ohren und Augen der Industrie. Sie erfassen den Herzschlag von Prozessen und ermöglichen bessere Entscheidungen. In dieser Ausgabe der ABB Review präsentieren wir ABB-Technologien, die Informationen verschiedenster Art erkennen, analysieren und kontextualisieren – von auf dem Meer schwimmenden Objekten über Verunreinigungen in Gasströmen bis hin zu Cyberbedrohungen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse unterstützen bessere Entscheidungen, steigern die Produktivität und helfen dabei, Menschen, Anlagen und die Umwelt zu schützen.

2023 ist ein besonderes Jahr für ABB. Vor 140 Jahren gründeten der Erfinder Jonas Wenström und der Finanzier Ludvig Fredholm das Unternehmen, das später unter dem Namen ASEA bekannt wurde und heute das „A“ in ABB bildet. Zahlreiche Erfindungen und Tätigkeiten, die noch heute bei ABB eine zentrale Rolle spielen, gehen auf ASEA zurück. In der vorliegenden Ausgabe der ABB Review widmen wir ein Kapitel dieser bemerkenswerten Geschichte voller Pionierleistungen und Unternehmergeist.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Björn Rosengren
Chief Executive Officer, ABB Group

Dieses Editorial
teilen



PIONIERLEISTUNGEN

140 Jahre ASEA

Ein Leben ohne Elektrizität ist heute kaum vorstellbar. Dabei galt elektrischer Strom noch in der Kindheit unserer Großeltern und Urgroßeltern als Luxus, zu dem nur wenige Zugang hatten und von dem viele noch nie gehört hatten. Der vorliegende Artikel berichtet von der Wissbegierde und dem Erfindergeist zweier Unternehmer aus Schweden, die am Ende des 19. Jahrhunderts den Grundstein für Innovationen gelegt haben, die sowohl im Bereich der Elektrizität als auch darüber hinaus die Welt veränderten – und die Voraussetzung für die Entstehung von ABB geschaffen haben, einem Unternehmen, das heute über 100.000 Menschen beschäftigt und einen Umsatz von über 30 Mrd. US-Dollar erwirtschaftet.



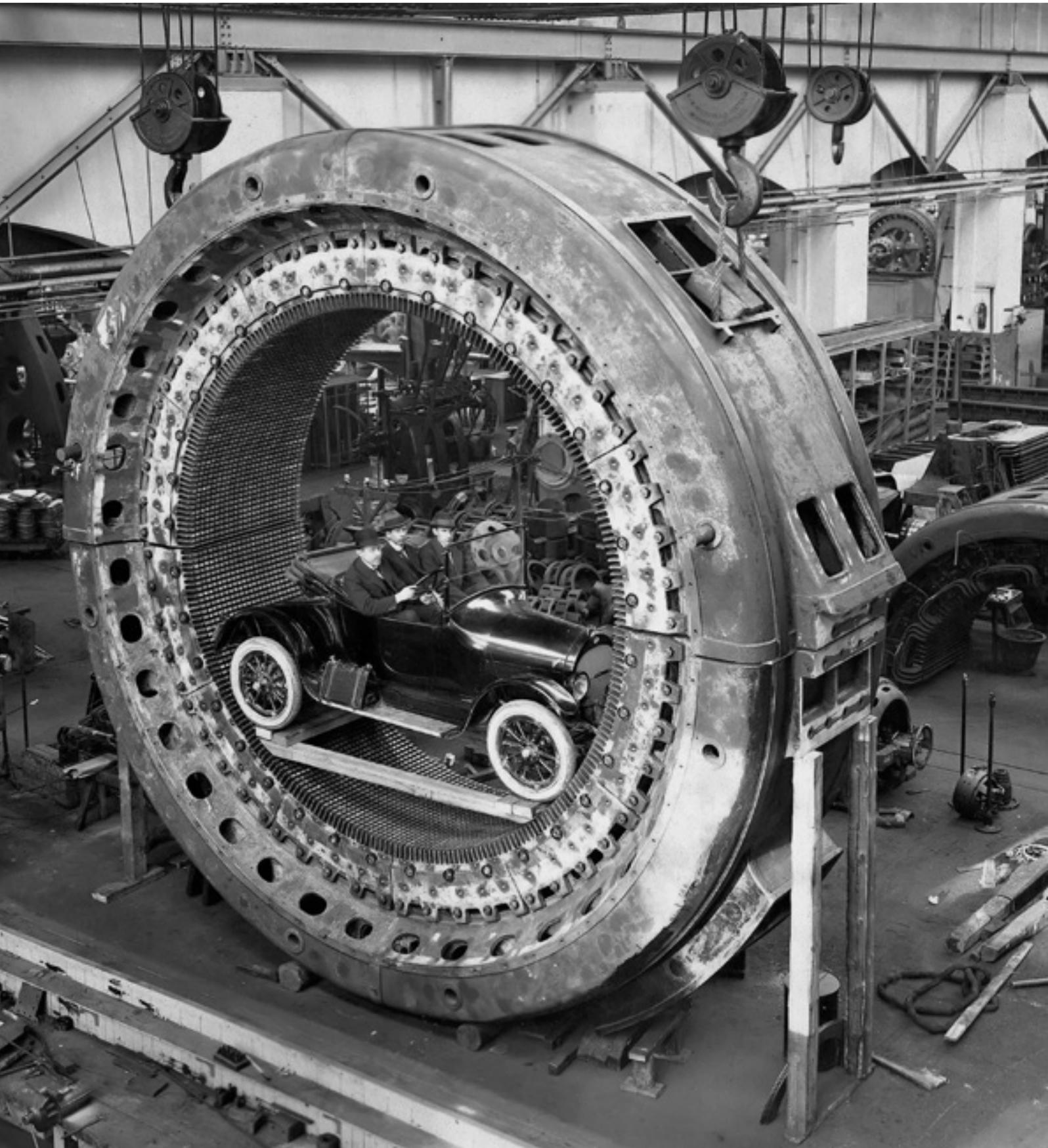
Andreas Moglestue
ABB Review
Zürich, Schweiz

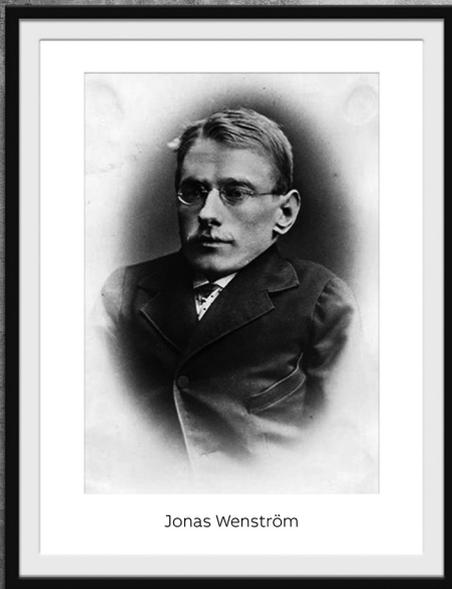
andreas.moglestue@
ch.abb.com



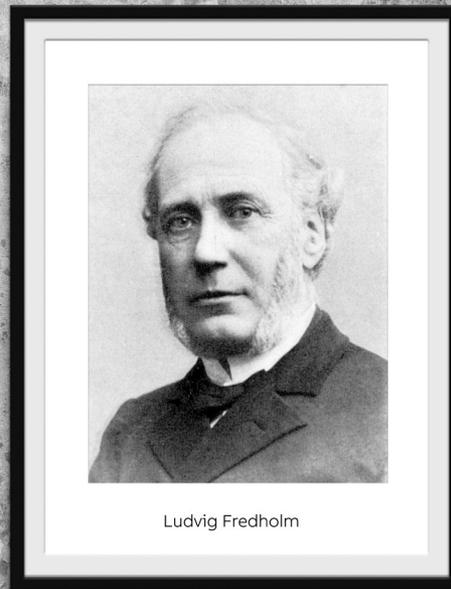
Arthur F. Pease
Autor und Journalist
München, Deutschland







Jonas Wenström



Ludvig Fredholm

01

Dem Zufall ist es zu verdanken, dass der talentierte Erfinder Jonas Wenström den Geschäftsmann Ludvig Fredholm traf →01. Am 17. Januar 1883 gründeten die beiden im schwedischen Stockholm das Unternehmen Elektriska Aktiebolaget. Sieben Jahre später, im Jahr 1890, fusionierte Elektriska mit dem Unternehmen von Wenströms Bruder zur Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget, später abgekürzt zu ASEA (und schließlich das „A“ in ABB).

Der von einer unaufhörlichen Wissbegierde und einem starken Unternehmergeist getriebene Wenström wurde zu einem der führenden Pioniere auf dem Gebiet der Stromübertragung →02. Seine Erfindungen ermöglichten den Bau

—
Als ASEA 1988 mit BBC fusionierte, war das Unternehmen zu einem Industrieriesen gewachsen.

von Kraftwerken und Übertragungsleitungen ebenso wie die Elektrifizierung von Städten und Fabriken →03. Bereits 1893 baute das junge Unternehmen Schwedens erste Drehstromübertragung, eine 15 km lange 9,5-kV-Leitung von einem Wasserkraftwerk in Hällsjön zu einem Bergwerk in Grängesberg [1]. Tragischerweise starb Wenström im selben Jahr im Alter von nur 38 Jahren an einer Lungenentzündung.

Wenströms Kreativität und Innovationsgeist lebten bei ASEA weiter. So lieferte das Unternehmen Lokomotiven und Stromversorgungen für Eisenbahnen und sorgte 1926 für die Elektrifizierung der Bahnstrecke Stockholm–Göteborg. Ab 1978 lieferte

ASEA sogar Elektrolokomotiven vom Typ AEM-7 für die Eisenbahngesellschaft Amtrak in die USA.

Die Forschung hatte bei ASEA stets einen hohen Stellenwert. Schon 1916, lange bevor es unter Industrieunternehmen gang und gäbe wurde, eröffnete ASEA in Västerås ein eigenes zentrales Forschungslabor [2]. Zu den bekanntesten Errungenschaften des Unternehmens gehören die erste kommerzielle Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) →04 und die ersten synthetischen Diamanten →05.

Im Jahr 1952 realisierte ASEA die weltweit erste 380-kV-Wechselstrom-Übertragungsleitung, die mit einer Länge von 1.000 km und einer Übertragungskapazität von 500 MW das Kraftwerk Harsprånget mit der Ortschaft Hallsberg verband [3,4]. Diese Spannungsklasse wurde später international für die Fernübertragung von elektrischem Strom übernommen und ist noch immer weit verbreitet.

Im Jahr 1972 baute ASEA Schwedens erstes Kernkraftwerk, und später kamen noch acht der insgesamt 12 Reaktoren des Landes hinzu. Als das Unternehmen 1988 mit Brown, Boveri & Cie (BBC) zu ABB fusionierte →06, war ASEA zu einem Industrieriesen gewachsen und hatte sich als einer der zehn größten Konzerne im Bereich der Elektrotechnik und weltweit führender Anbieter von HGÜ-Technik etabliert.

Heute gehört ABB zu den führenden Unternehmen auf dem Gebiet der Industrierobotik. Der Weg dorthin begann im Jahr 1974, als ASEA mit dem IRB 6 einen der ersten Industrieroboter der Welt auf den Markt brachte →07.

Die folgenden Seiten geben einen kleinen Einblick in die vielen Errungenschaften und das bleibende Erbe dieses bedeutenden Unternehmens.

01 Jonas Wenström (1855–1893) und Ludvig Fredholm (1830–1891).

02 Pioniere des Drehstroms.

02a Handgeschriebene Anfrage von Thomas Edison an Jonas Wenström zur Verfügbarkeit von Thorit. (Quelle: Från Wenström till Amtrak, Västerås 1983).

02b Montage eines großen Drehstromtransformators in einer ASEA-Fabrik.

PIONIERE DES DREHSTROMS

In der Geschichte der Technik gab es immer wieder Zeiten, die völlig neue Möglichkeiten eröffneten und in denen der Fortschritt einen Schub erfuhr. In den 1970er und 1980er Jahren revolutionierte zum Beispiel der Personal Computer die Datenverarbeitung, und Anfang der 2000er Jahre begann der Siegeszug des Internets und der sozialen Netzwerke. Solche technischen Revolutionen sind goldene Zeiten für Unternehmer und bieten scheinbar unbegrenzte Möglichkeiten für mutige und kreative Geister – Menschen, die die Welt für immer verändern. Dies galt auch für die Elektrizität in den 1880er und 1890er Jahren →02a.

Frühe kommerzielle Elektromotoren nutzten vorwiegend Gleichstrom. Die zunehmende Verwendung von (einphasigem) Wechselstrom zur Stromübertragung (anfänglich hauptsächlich zur Beleuchtung) veranlasste viele Erfinder dazu, sich mit der Entwicklung brauchbarer Wechselstrommotoren zu befassen. Eine Schwierigkeit dabei lag in der Erzeugung eines magnetischen Drehfelds, der Grundlage eines Asynchronmotors. Hinzu kommt, dass die Leistungsübertragung in einem Einphasen-Motor nicht konstant ist, was zu Drehmomentschwankungen und Vibrationen führt.

1885 präsentierte der italienische Physiker Galileo Ferraris einen Zweiphasen-Generator, bei dem die zweite Phase im Grunde ein separater Stromkreis mit einem um eine Viertelperiode verschobenen Phasenwinkel war. Mit diesem Phasenunterschied war eine konstante Leistungsübertragung und ein gleichmäßig rotierendes elektrisches Feld möglich.

In den Folgejahren befassten sich zahlreiche Erfinder mit dem mehrphasigen Konzept, darunter Nikola Tesla (der in den USA für Westinghouse

T. A. EDISON.

Menlo Park, N. J.,

Nov 18 1879

Jonas Wenström Esq.
Kristiana Norway
Dear Sir,
Your favor of the 7th ult was duly recd also the promptness for which please accept thanks -
May I enquire if the Mineral Thosite can be obtained in any considerable quantity in Norway - of whom and at what price?
Very truly
Yours
T. A. Edison

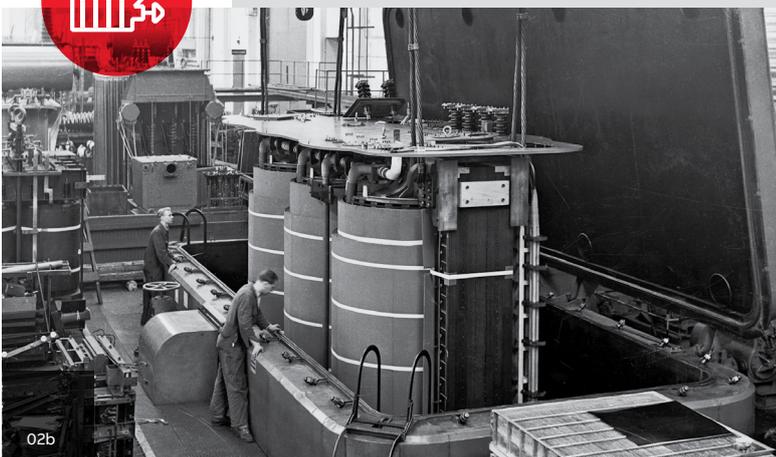
02a

tätig war), Mikhail Dolivo-Dobrovolsky (für AEG in Deutschland) und Jonas Wenström in Schweden.

Sie alle setzten schließlich auf das Dreiphasen- oder Drehstromsystem. Wie Zweiphasen-Motoren ermöglichen auch Dreiphasen-Motoren eine konstante Leistungsübertragung. Und da die Summe der Spannungen der drei Phasen gleich null ist, kann für symmetrische Lasten auf den Neutralleiter verzichtet werden. So kann mit drei Kabeln dreimal so viel Leistung transportiert werden wie bei einem Einphasensystem mit zwei Kabeln, was große Einsparungen bei den Baukosten für Übertragungsleitungen ermöglicht.

Während seiner Tätigkeit für AEG schloss sich Dolivo-Dobrovolsky mit einem anderen Pionier namens Charles E. L. Brown zusammen, der für die Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) in der Schweiz arbeitete, um eine Drehstrom-Übertragung für die internationale elektrotechnische Ausstellung 1891 in Frankfurt am Main zu bauen. Der Strom wurde von einem Generator in Lauffen am Neckar über eine 175 km lange 15-kV-Leitung übertragen. Die Anlage demonstrierte die Machbarkeit der Hochspannungs-Drehstromübertragung und wurde zum Meilenstein in der Geschichte der Elektrotechnik.

Im selben Jahr verließ Brown die MFO und gründete mit Walter Boveri sein eigenes Unternehmen Brown, Boveri & Cie (BBC). 1970 übernahm BBC die MFO und fusionierte 1988 schließlich mit ASEA zu ABB. 1989 übernahm ABB das Stromübertragungs- und -verteilungsgeschäft von Westinghouse und konnte somit das Erbe einiger großer Pioniere für sich beanspruchen →02b.



02b



04a

DIE ERSTE KOMMERZIELLE HGÜ

Die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) eignet sich besonders für See- und Erdkabel und sehr lange Freileitungen. Ende der 1920er Jahre wurde ASEA zunächst Vorreiter in der Forschung und dann Technologieführer auf diesem Gebiet. Die erste kommerzielle Anwendung war die 1954 in Betrieb genommene Verbindung zur schwedischen Insel Gotland mit 100 kV und 200 A →04a [5–7]. Die dazugehörigen

Die erste kommerzielle HGÜ-Anwendung war die 1954 in Betrieb genommene Gotland-Verbindung.

Umrichterstationen waren mit Quecksilberdampfventilen ausgerüstet. Zu der Zeit (und noch lange danach) war ASEA das einzige Unternehmen weltweit, das Ventile für so hohe Spannungen bereitstellen konnte. Uno Lamm, der häufig als „Vater der HGÜ“ bezeichnet wird →04b, war es gelungen, deren Sperrspannung mithilfe von Stufenelektroden zu erhöhen, um die spontane Bildung von Lichtbögen zu begrenzen.

Dem erfolgreichen Gotland-Projekt folgten weitere HGÜ-Verbindungen mit immer höheren Spannungen und Leistungen. Ende der 1960er Jahre begannen Halbleiterventile aus Silizium die Quecksilberdampf-

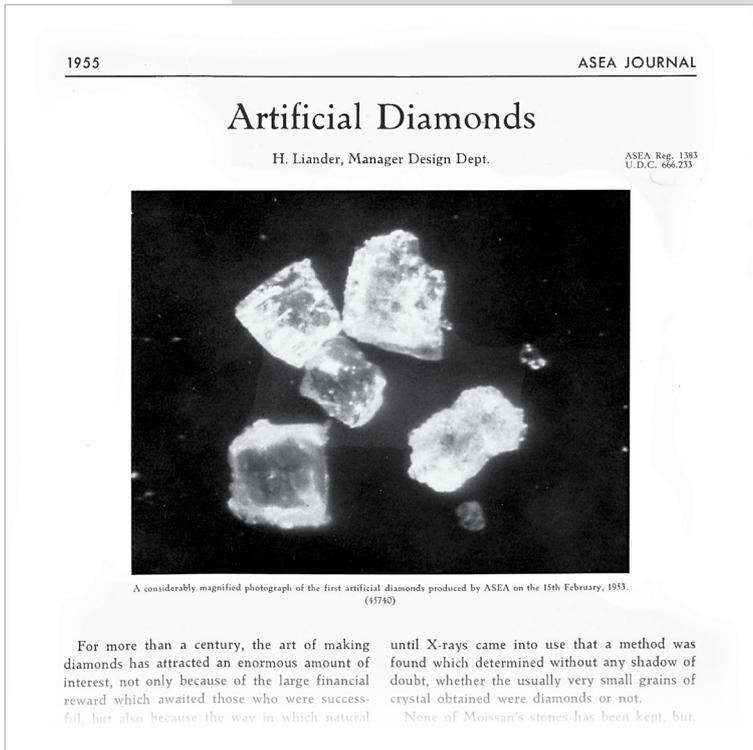


04b

ventile zu verdrängen. ASEA übernahm eine führende Rolle in der Entwicklung von Thyristoren, die den erforderlichen Strömen und Spannungen gewachsen waren [8–10].

Im Zuge einer Neuausrichtung verkaufte ABB 2020 ihre Sparte für die Hochspannungsübertragung (AC und DC) an Hitachi. Lösungen für die Gleich- und Wechselstromverteilung im Mittel- und Niederspannungsbereich sind bis heute zentrale Bestandteile des ABB-Portfolios.





05a

DIE ERSTEN SYNTHETISCHEN DIAMANTEN DER WELT

Artikel aus dem
ASEA Journal von
1955 herunterladen



Nachdem man Ende des 18. Jahrhunderts entdeckt hatte, dass Diamanten aus Kohlenstoff bestehen, gab es im Laufe der Jahre zahlreiche erfolglose Versuche, diese künstlich herzustellen. Der schwedische Erfinder Baltzar von Platen erkannte 1937, dass die Lösung in der Erzeugung des notwendigen Drucks lag.

1942 überzeugte er ASEA, finanzielle Mittel und Forschungspersonal zur Verfügung zu stellen. Das Projekt mit dem Codenamen „Quintus“ war streng geheim. Nachdem von Platen 1952 aus dem Projekt ausstieg, setzte ASEA die Arbeit mit einem Team aus fünf Wissenschaftlern unter der Leitung von Erik Lundblad fort [11].

Am 16. Februar 1953 gelang es dem Team in seinem Stockholmer Labor, eine Stunde lang einen Druck von 8,4 GPa und eine Temperatur von 2.200 °C aufrechtzuhalten und etwa 40 winzige Kristalle von etwa 0,1 mm Größe herzustellen. Vier davon wurden zur Universität Stockholm gesandt, wo Röntgenuntersuchungen bestätigten, dass es sich um Diamanten handelte. Das Experiment wurde am 24. Mai und 25. November mit einem ähnlichen Ergebnis wiederholt.

Der Erfolg wurde zunächst geheim gehalten, da ASEA das Verfahren perfektionieren wollte. Als GE allerdings im Dezember 1954 eigene Diamanten herstellte und bei der Veröffentlichung im Februar 1955 den Durchbruch unwissentlich für sich beanspruchte, war man gezwungen, zu handeln. Im April gab ASEA ihren Erfolg bekannt [12] und berichtete später auch im ASEA Journal (einem Vorgänger der ABB Review) darüber →05a [13].

Die ASEA-Diamanten wurden vornehmlich in industriellen Schneidwerkzeugen eingesetzt. 1962 wurde die Produktion vom Labor in Stockholm in eine Fabrik im schwedischen Robertsfors verlagert →05b. Später ging ASEA ein Joint Venture mit De Beers ein, bevor das Unternehmen 1975 seine Anteile komplett verkaufte.



05b

05





06a



DIE FUSION

Im Jahr 1986, zwei Jahre vor der Fusion von ASEA und Brown, Boveri & Cie (BBC) →06a, beschäftigte ASEA 71.000 Mitarbeitende und verzeichnete einen Umsatz von 6,8 Mrd. USD. Der Gewinn nach Steuern lag bei 370 Mio. USD →06b. BBC hatte 97.000 Beschäftigte, einen Umsatz von

8,5 Mrd. USD und einen Gewinn nach Steuern von 132 Mio. USD. Angesichts der vielen gemeinsamen Geschäftsinteressen und technologischen Synergien beschlossen ASEA und BBC zu fusionieren und ein neues Unternehmen – Asea Brown Boveri (ABB) – mit Hauptsitz in Zürich zu gründen.

05 Die ersten synthetischen Diamanten der Welt.

05a Artikel im ASEA Journal aus dem Jahr 1955 über die erfolgreiche Herstellung synthetischer Diamanten.

05b Pressen zur Herstellung von Diamanten in Robertsfors, Schweden, 1964. Laut J. Asplund [11] wurden die Mitarbeitenden im Bild platziert, um sensible Bereiche der Anlage zu verdecken.

06 Die Fusion.

06a Die Fusion von ASEA und BBC zu ABB trat am 5. Januar 1988 in Kraft.

06b Montage eines Motors in einer ASEA-Fabrik.



06b

07 Die Roboter-Revolution.

07a Leif Jönsson von Magnusson AB und Lennart Benz von ASEA demonstrieren den Roboter IRB 6 im Jahr 1974. Magnusson wurde der erste externe Roboterkunde von ASEA und nutzte den Roboter zum Polieren von Edelstahlrohren für die Lebensmittelindustrie.

07b Eine der frühen Anwendungen für Punktschweißroboter war der Saab 99.

07c Der Lichtbogen-Schweißroboter IRB 2000 von ASEA erregte branchenweite Aufmerksamkeit, als er 1986 bei einer Messe in Brüssel aus einem Ei schlüpfte.

07d Die ABB Flex-Picker-Roboter (hier der FlexPicker IRB 360) sind für schnelle und agile Bewegungen in Pick-&-Place-Anwendungen konzipiert.

07e Der 2015 vorgestellte YuMi von ABB ist darauf ausgelegt, mit Menschen zusammenzuarbeiten.

DIE ROBOTER-REVOLUTION

Industrieroboter kommen heute überall in diskreten Fertigungs- und Handhabungsanwendungen zum Einsatz. Die Fortschritte, die sie in puncto Produktivität, Konsistenz, Qualität und Arbeitssicherheit ermöglicht haben, sind erstaunlich. Ein Exemplar sticht dabei besonders hervor: Der IRB 6, der erste vollelektrische, mikroprozessor-

Der IRB 6 war der erste vollelektrische, mikroprozessorgesteuerte Industrieroboter der Welt.

gesteuerte kommerziell erhältliche Industrieroboter der Welt →07a. Bei seiner Einführung im Jahr 1974 war der IRB 6 revolutionär. Bis dahin waren Roboter vorwiegend hydraulisch, doch die neue Maschine mit einer Tragkraft von 6 kg war einzigartig – nicht nur im Hinblick auf ihr Antriebssystem, sondern auch aufgrund ihres anthropomorphen Konzepts und der innovativen, präzisen Steuerung mithilfe eines 8-Bit-Mikroprozessors (vom Typ Intel 8008). Auch in puncto Stellfläche, Bewegungsgeschwindigkeit und Wiederholgenauigkeit setzte der IRB 6 neue Maßstäbe.

In den nachfolgenden Jahrzehnten wuchs mit der Reichweite und den Fähigkeiten von Robotern auch die Bandbreite der Roboteranwendungen. Heute gehört ABB zu den weltweit führenden Anbietern für Robotik und Maschinenautomation →07b-e [14–17].



07a



07d

Literaturhinweise

[1] T. Fogelberg, Å. Carlsson: „Voller Spannung: Die Geschichte der ABB-Leistungstransformatoren“. *ABB Technik* 03/2007, S. 80–86.

[2] A. Johnson: „Die Denkfabrik: Vor 100 Jahren eröffnete das erste ABB-Forschungszentrum“. *ABB Review* 03/2016, S. 13–15.

[3] „The Swedish 380 kV System in Operation“. *ASEA Journal* 1952, S. 43.

[4] „The Swedish 380 kV System“. *ASEA Journal* 1953, S. 27–29.

[5] U. Lamm: „High Voltage D.C. Power Transmission – a Pioneer Project“. *ASEA Journal* 1950, S. 172–174.

[6] U. Lamm: „The first High Voltage D.C. Transmission with Static Converters: Some Notes on the Development“. *ASEA Journal* 1954, S. 139–140.

[7] G. Asplund et al.: „50 Jahre HGÜ, Teil 1: ABB – vom Pionier zum Weltmarktführer“. *ABB Technik* 04/2003, S. 06–09.

[8] G. Asplund et al.: „50 Jahre HGÜ, Teil 2: Der Siegeszug der Halbleiter“. *ABB Technik* 04/2003, S. 10–13.

[9] A. Moglestue: „Vom Quecksilberdampf zum Hybridleistungsschalter: 100 Jahre Leistungselektronik“. *ABB Review* 02/2013, S. 70–78.

[10] A. Moglestue: „60 Jahre HGÜ: Der Weg von ABB vom Pionier zum Marktführer“. *ABB Review* 02/2014, S. 32–41.

[11] J. Asplund: „The end of an era: Jan Asplund gives an overview of synthetic diamond production in Sweden“. *Gems and Jewellery*, May-June 2015, S. 24–27.

[12] J. Asplund: „The Truth, The Tales, The Disinformation and The Lies – a study on the written history on the first synthetic diamonds“. Selbstverlag, Januar 2015.

[13] H. Liander: „Artificial diamonds“. *ASEA Journal* 1955, S. 97–98 (siehe QR-Code auf S. 244 dieses Artikels).

[14] B. Rooks: „Thirty years in robotics“. *ABB Review Special Report: Robotics*, 2005, S. 06–09.

[15] D. Marshall, N. Chambers: „Roboter auf Erfolgskurs: 40 Jahre Industrieroboter von ABB“. *ABB Review* 02/2014, S. 24–31.

[16] P. Crowther: „YuMi®: Der erste wirklich kollaborative Zweiarm-Roboter der Welt markiert den Beginn einer neuen Ära“. *ABB Review* 03/2015, S. 06–11.

[17] T. Lagerberg, J. Jonson: „Biografie eines Roboters: Die Geschichte des elektrischen Industrieroboters gestern, heute und morgen“. *ABB Review* 03/2016, S. 41–44.



07b



07c



07e



WEITERFÜHRENDE LITERATUR



Zur Geschichte von ASEA

Från Wenström till Amtrak: profiler och händelser ur Aseas historia, ASEA AB, Västerås, 1983.

A. Moglestue: „Aus den ASEA-Archiven: Rückblick auf über ein Jahrhundert in gedruckter Form“. *ABB Review* 1/2015, S. 62–66 (QR-Code unten).



Zur Geschichte von BBC

T. Lang, N. Wildi: „IndustrieWelt: Historische Werkfotos der BBC 1890–1980“. NZZ-Libro, Zürich, 2006.

D. Siegrist: „125 Jahre und eine Hundertjahrfeier: ABB feiert ihr 125-jähriges Bestehen in der Schweiz und 100 Jahre Konzernforschung“. *ABB Review* 3/2016, S. 06–12 (QR-Code unten).



Zu Industrierobotern

L. Westerlund: „The Extended Arm of Man: A History of the Industrial Robot“. Informationsförlaget, 2000.

Video über das Jubiläum

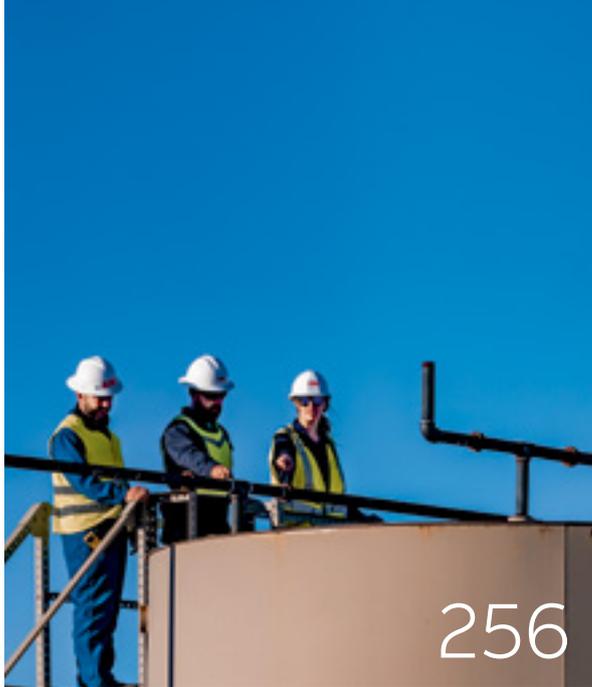


Diesen Artikel teilen



Sehen und Erkennen





Lassen sich mit neuen Technologien mehr nutzbare Daten aus Industrieanlagen gewinnen? Ja, aber es sind Erfahrung, Branchenwissen, Cybersicherheit und Übersicht erforderlich, um daraus ein Plus an Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit zu generieren. Entsprechende Innovationen sind im Gange, deren Ergebnisse die Standards von morgen sein könnten.



- 250 **Veränderte Sicht auf die Dinge**
Ein Vision-System zur Unterstützung des Ausgucks auf Schiffen
- 256 **Das Multitalent**
Echtzeit-Messung von Gasverunreinigungen durch laserbasierte spektroskopische Analyse
- 262 **Wahlverwandtschaften**
Betriebliche Optimierung von drehzahlgeregelten Antriebssystemen
- 268 **Integrierte Lösungen**
Die Zukunft der Elektrifizierung im Bergbau
- 274 **Erweiterung des Sicherheitsnetzes**
SIEM bringt Cybersicherheit in den OT-Bereich



EIN VISION-SYSTEM ZUR UNTERSTÜTZUNG DES AUSGUCKS AUF SCHIFFEN

Veränderte Sicht auf die Dinge

In vielen Häfen wird der Verkehr immer dichter. Gleichzeitig werden Handelsschiffe immer größer. Laut Zahlen der Welthandels- und Entwicklungskonferenz UNCTAD nahm die mittlere Umschlagzeit von Schiffen im Hafen zwischen 2020 und 2021 um 14 Prozent zu [1]. Gleichzeitig wird zwischen 2023 und 2027 für die Frachtschiffahrt ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 2,1 Prozent erwartet [2]. Ein ABB-Forschungsprogramm soll dabei helfen, damit verbundene Unsicherheiten zu umschiffen.



Überfüllte Häfen und Fahrrinnen bedeuten ein höheres Risiko für Schiffe und zusätzlichen Druck für Schiffsbesatzungen. Eine Erweiterung der Fähigkeiten von Schiffsbesatzungen durch Technologie bietet Vorteile in puncto Sicherheit sowohl für Handelsschiffe, die diese Technologie nutzen, als auch für Sportboote, die dieselben Gewässer befahren.

Die moderne Navigation ist stark von der menschlichen Wahrnehmung abhängig. Doch wenn es um langsame, fortwährende oder großflächige Beobachtungen geht, sind die menschlichen Sinne weniger gut geeignet [3]. Forschungen zeigen, dass der Mensch trotz seiner hervorragenden Fähigkeiten fehlbar ist. So ist ein erheblicher Prozentsatz aller Schiffsunfälle zumindest zum Teil auf menschliches Versagen zurückzuführen [4]. Eine der Ursachen ist Ermüdung, was durch den Einsatz neuer Technologie verbessert werden könnte. Damit Schiffe ihre Umgebung erkennen und überwachen können – eine Voraussetzung für die Fernsteuerung und den Einsatz autonomer Schiffe –, werden verschiedene Technologien zu einer praktikablen und vertrauenswürdigen Lösung kombiniert. Solche Lösungen erweitern die menschliche Erfahrung und unterstützen Schiffsbesatzungen bei der sicheren Handhabung des Schiffes und der Vermeidung von Unfällen.

Eine zentrale Aufgabe bei der Navigation ist die des Ausgucks, also die fortwährende Beobachtung der Schiffsumgebung zur frühzeitigen Erkennung möglicher Gefahren. Dies geschieht in der Regel mithilfe eines Fernglases. Andere Technologien, die zu einer sicheren Navigation beitragen, sind das Automatische Identifikationssystem (AIS) und das Schiffsradar. Allerdings kann es sein, dass der diensthabende Ausguck

„Wenn Du Deine Sicht auf die Dinge veränderst, verändern sich die Dinge, die Du siehst.“

Wayne Dyer

aufgrund der Tatsache, dass langsame und allmähliche Veränderungen nur schwer erkennbar sind oder er sich gleichzeitig oder längere Zeit auf mehrere Ziele konzentrieren muss, ein nahegelegenes Schiff übersieht. Kleinere Schiffe verfügen zudem nicht alle über ein AIS und können aufgrund ihrer geringen Radarsignatur möglicherweise nicht vom Radar erfasst werden. Hinzu kommen tote Winkel im Nahbereich rund um größere Schiffe, da das Radar eher auf eine frühzeitige Erfassung entfernter Ziele ausgelegt ist. Das Radar befindet sich meist oberhalb

der Brücke und besitzt ein begrenztes vertikales Sichtfeld mit einer typischen minimalen Reichweite von mehreren Hundert Metern. Die Geschichte zeigt, dass eine veränderte Sicht auf die Dinge helfen kann – oder wie der US-amerikanische Psychologe Wayne Dyer schreibt: „Wenn Du Deine Sicht auf die Dinge veränderst, verändern sich die Dinge, die Du siehst“ [5]. In →01b liegt ein kleines Schiff längsseits eines größeren Schiffs und ist für das Schiffsradar daher schwer zu unterscheiden. Doch ein bildverarbeitungs-basiertes System (Vision-System) ist in der Lage, sowohl das kleine als auch das größere Schiff zu erkennen.

Der Einsatz von maschineller Wahrnehmung und Automatisierungssystemen kann unsere Sicht auf Dinge verändern und einen sichereren und effizienteren Schiffsbetrieb ermöglichen. So kann ein System aus Kameras und Algorithmen zur maschinellen Wahrnehmung derzeitige Lücken schließen, indem es eine kontinuierliche, objektive Beobachtung ermöglicht, Funktionen zur präzisen Abstandsbestimmung bereitstellt, kleine Hindernisse erkennt und tote Winkel abdeckt.

Eine wichtige Aufgabe bei der Navigation ist die genaue Bestimmung der sogenannten Water Clearance, dem Abstand zwischen dem Schiffsrumpf und möglichen Hindernissen. Dies ist besonders beim Manövrieren im Hafen oder in beengten Gewässern wichtig. Zwar ist dies auch mithilfe eines globalen Navigationssatellitensystems (GNSS) und genauen Karten möglich, doch bei einem Ausfall des GNSS würden dem Schiff entscheidende Informationen fehlen. Hinzu kommt, dass Karten abhängig vom Alter und der Präzision der Messdaten stark variieren können. Die eingeschränkte Sicht von der Brücke erfordert zusätzliches Personal beim Anlegen und im Schleppbetrieb. Dabei verlässt sich die Brückencrew auf subjektive Daten zur Größe und Entfernung von Hindernissen, die per Walkie-Talkie kommuniziert werden.

Monokulares Vision-System

Dank neuartiger Algorithmen und moderner Hardware sind Maschinen heute in der Lage, optische Eingaben zu verarbeiten und komplexe Wahrnehmungsaufgaben zu erfüllen. Neueste Deep-Learning-Verfahren nutzen neuronale Netze mit Millionen von Parametern. Moderne Hardware ermöglicht das Training solcher großer Netze. Das daraus resultierende Modell kann Wahrnehmungsaufgaben wie Objekterkennung und semantische Segmentierung erfüllen. Maschinelle Lernverfahren werden dann in Kombination mit computergestützten Verfahren zur optischen Erkennung (maschinelles Sehen) und Signalverarbeitung eingesetzt, um die Sicherheit für Schiffsbesatzungen zu verbessern.

—
Stefano Marano
Deran Maas
Bruno Arsenali
ABB Corporate Research
Dättwil, Schweiz

stefano.marano@
ch.abb.com
deran.maas@
ch.abb.com
bruno.arsenali@
ch.abb.com

Jukka Peltola
Kalevi Tervo
ABB Marine & Ports
Helsinki, Finnland

jukka.p.peltola@
fi.abb.com
kalevi.tervo@fi.abb.com



01a



01b



01c

Schwerpunkt der Forschungsarbeit bei ABB ist ein monokulares Vision-System, d. h. ein System mit nur einer Kamera. Häufig ist bereits eine einzelne Kamera installiert, die die ABB-Technologie nutzen kann. Diese einfache und relativ kostengünstige Hardware hat den Vorteil, dass sie nicht nur für Menschen leicht verständlich ist, sondern auch von Computern genutzt werden kann. Die hier vorgestellten Systeme umfassen mehrere Komponenten, und eine der Hauptherausforderungen bestand darin, dafür zu sorgen, dass alle in Echtzeit arbeiten. Eine solche Funktionalität erfordert ein sorgfältiges Management der Datenströme von mehreren Sensoren sowie eine ausgeglichene Verteilung der Ausführung von Algorithmen zwischen der Haupt-CPU und Grafikprozessoren.

Konvolutionale neuronale Netze

Objekterkennung und semantische Segmentierung sind zwei Technologien, die im Zusammenhang mit maschinellem Sehen und der computergestützten Bildverarbeitung stehen. Stand der Technik bei diesen Technologien sind Modelle auf der Basis konvolutionaler neuronaler

Netze. Diese basieren auf einer Vielzahl sogenannter Faltungskerne (Convolution Kernels), die auf das eingegebene Bild angewendet werden und als Ausgabe sogenannte Merkmalskarten (Feature Maps) liefern. Da diese Kerne viele Parameter besitzen, die abgestimmt werden müssen, ist eine große Anzahl von Bildern erforderlich. Aus diesem Grund hat ABB mehrere Zehntausend domänenspezifische Bilder erfasst und annotiert [PAT-1]. Zur besseren Generalisierung wurden die Bilder unter verschiedenen Bedingungen und an verschiedenen Standorten sowohl an Bord als auch außerhalb des Schiffs aufgenommen. Das Schiff, von dem aus die Onboard-Aufnahmen gemacht werden und auf dem sich der elektronische Ausguck befindet, wird als „Ego-Schiff“ bezeichnet.

Das Ziel der Objekterkennung ist es, sämtliche Instanzen von Objekten einer oder mehrerer Klassen zu erkennen. In Schifffahrtsanwendungen wird die Objekterkennung häufig genutzt, um verschiedene Arten von Schiffen und Objekten auf See wie zum Beispiel Segelschiffe, Passagierschiffe und Frachtschiffe zu erkennen. Bei den Segelschiffen wiederum gibt es solche, die unter Motorkraft fahren, und solche, die unter Segel fahren. Diese Unterscheidung ist wichtig für Anwendungen zur Kollisionsvermeidung, da sich Schiffe unter Motor und unter Segel anders verhalten und gemäß den Kollisionsverhütungsregeln (COLREGs)¹⁾ anders behandelt werden müssen.

Die semantische Segmentierung ist von entscheidender Bedeutung für die Bestimmung der Water Clearance, da mit ihrer Hilfe jedem Pixel in einem Bild eine Klassenkennzeichnung zugeordnet werden kann. Die Technologie ermöglicht zum Beispiel die Unterscheidung zwischen Pixeln der Klasse „Schiff“, „Wasser“ oder „Land“. Die Segmentierung von Wasser wird zur Schätzung der Water Clearance verwendet, während die gemeinsame Segmentierung von Schiffen und Wasser in Kombination mit der Objekterkennung zur Lokalisierung der Wasserlinie genutzt wird [PAT-2].

Kamerakalibrierung

Zur Schätzung der Position von Zielschiffen in einem Weltkoordinatensystem wird ein monokulares Bildverarbeitungssystem verwendet. Da das System in Bezug auf die Meeresoberfläche kalibriert ist, werden Bildpunkte auf der Schnittstelle zwischen Schiff und Wasser von der Kamera auf die Meeresoberfläche zurückprojiziert. Die zurückprojizierten Punkte definieren die Position jedes Zielschiffs. Dabei ist es wichtig, dass die Kamera kalibriert ist, was sowohl intrinsische als auch extrinsische Parameter beinhaltet. Intrinsische Parameter werden normalerweise im Labor kalibriert. Extrinsische Parameter müssen nach

Fußnote

¹⁾ COLREGs steht für Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea. Die Regeln wurden 1972 verabschiedet und traten am 15.07.1977 in Kraft.

—
01 Beispiele von Bildern, die von der Ausguckkamera der Suomenlinna II aufgezeichnet wurden. Die Personenfähre verbindet Helsinki mit der Insel Suomenlinna.

01a Vor dem Schiff bewegen sich viele Ziele, einige davon klein und ohne AIS-Übertragung.

01b Voraus liegt ein kleines Hilfsschiff längsseits eines größeren Marineschiffs.

01c Kleine und sehr schnelle Jetskis bewegen sich auf unvorhersehbare Weise in der Nähe des Schiffs.

—
02 Beispiele von Bildern der MS Finlandia bei der Anfahrt auf Helsinki. Ein anderes Schiff bewegt sich vom Hafen auf die Steuerbordseite des Ego-Schiffs.

—
03 Vergleich der mit dem monokularen System geschätzten Werte für Entfernung und Peilung mit AIS-basierten Referenzdaten (Ground Truth).

—
04 Vergleich der mit dem monokularen System geschätzten Werte für SOG und COG mit AIS-basierten Referenzdaten (Ground Truth).

der Installation der Kamera an Bord kalibriert werden [PAT-4]. Dabei müssen alle Bewegungen des Schiffs berücksichtigt werden, um eine präzise Rückprojektion zu gewährleisten. Dies kann mithilfe einer inertialen Messeinheit (IMU) oder eines bildverarbeitungs-basierten Algorithmus zur Schätzung der Orientierung des Schiffs [PAT-5] erfolgen.

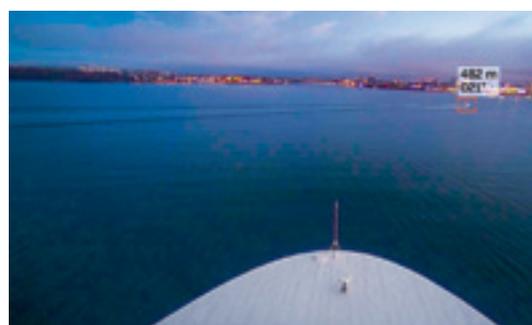
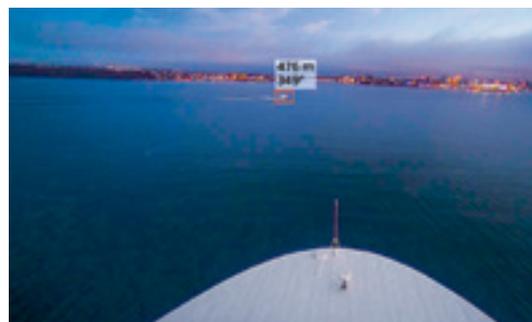
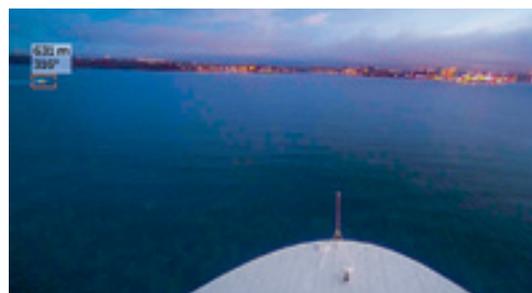
Die Positionen der Zielschiffe werden an einen sogenannten Multiple Target Tracker übergeben. Jedes Ziel wird mit einem Filter verfolgt, der in der Lage ist, die Dynamik des Ziels zu erfassen und Schätzungen der Position, der Fahrt über Grund (Speed Over Ground, SOG) und des Kurses über Grund (Course Over Ground, COG) zu liefern. Solche geschätzten Größen können zum Beispiel verwendet werden, um den Ort der dichtesten Annäherung (Closest Point of Approach, CPA) und die Zeitdauer bis zur dichtesten Annäherung (Time to Closest Point of Approach, TCPA) von Zielschiffen in Relation zum Ego-Schiff zu bestimmen.

Das maritime Umfeld stellt ein digitales Vision-System vor besondere Herausforderungen, da grelle Lichtverhältnisse, dichter Nebel und starker Regen die Fähigkeiten von Kameras einschränken. In Zukunft könnten vielleicht andere Sensortechnologien – z. B. solche, die im unsichtbaren Wellenlängenbereich arbeiten – für diese Zwecke eingesetzt werden.

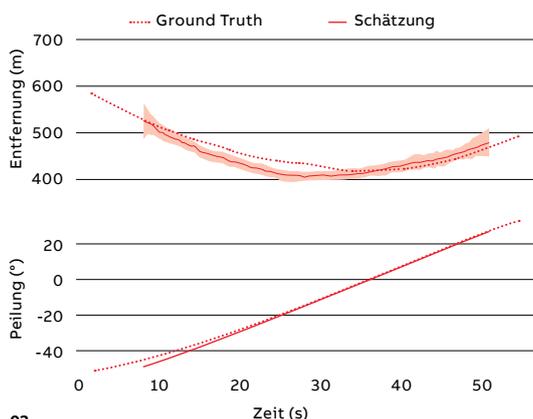
Elektronischer Ausguck

Die in →01 dargestellten Bilder stammen von der Suomenlinna II, einer kleinen Personenfähre, die Helsinki mit der Insel Suomenlinna verbindet. Die Kamera auf dem Schiff ist in einer Höhe von etwa 10m über der Wasserlinie installiert und besitzt ein horizontales Sichtfeld von etwa 60°. In →01a bewegen sich viele Ziele vor dem Ego-Schiff. Mehrere davon sind kleine Ziele, die kein AIS-Signal senden und vom Radar nicht erfasst werden. In →01b liegt ein kleines Hilfsschiff längsseits eines größeren Marineschiffs. Ein Radar wäre kaum in der Lage, die beiden Ziele voneinander zu unterscheiden, doch das Vision-System kann dies. Auf der linken Seite wird ein Fährschiff erkannt, obwohl es zum Teil von einer Insel verdeckt wird. In →01c bewegen sich kleine, sehr schnelle Jetskis auf unvorhersehbare Weise in der Nähe des Ego-Schiffs. Der elektronische Ausguck ist in der Lage, sie kontinuierlich zu überwachen.

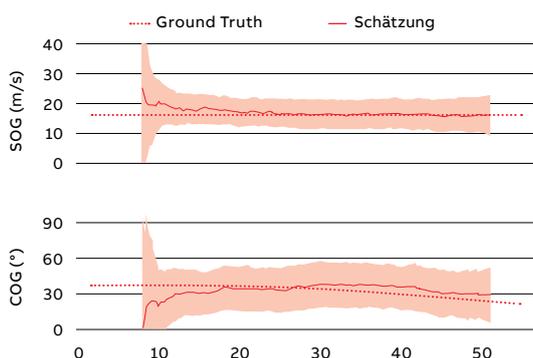
→02 zeigt eine Folge von Bildern, die von der Ausguckkamera der RoPax-Fähre MS Finlandia aufgenommen wurden, die zwischen Tallinn und Helsinki verkehrt. Die Kamera befindet sich in einer Höhe von etwa 30m und besitzt ein horizontales Sichtfeld von etwa 115°. In der Bildfolge bewegt sich ein Motorboot vom Hafen zur Steuerbordseite des Ego-Schiffs und wird



02



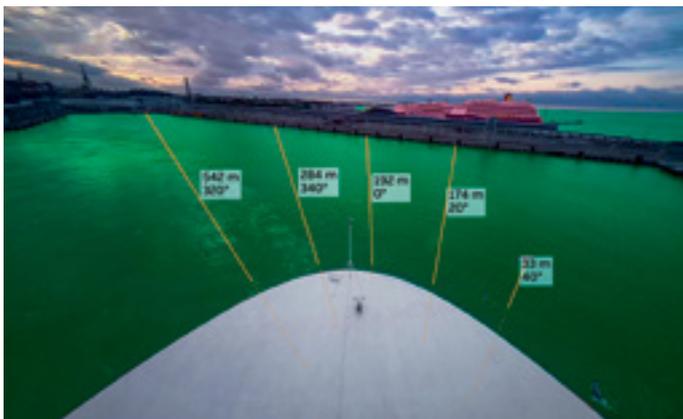
03



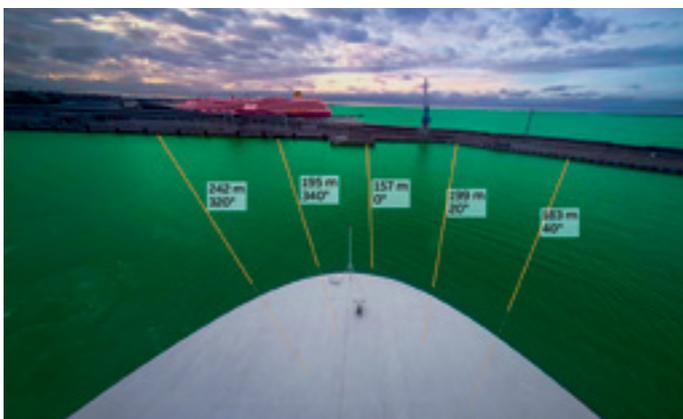
04



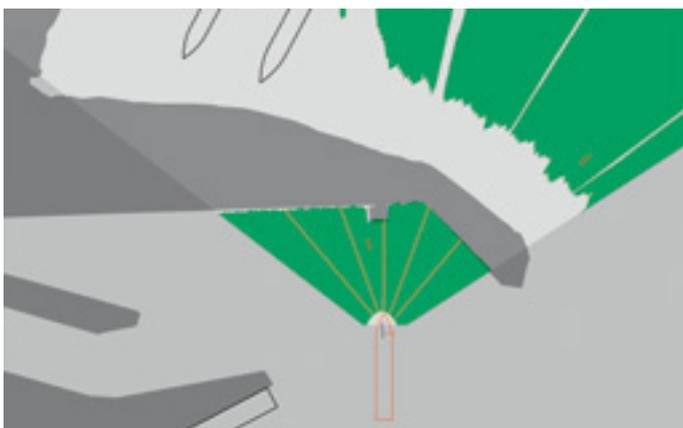
05a



05b



05c



06

erkannt. Erkannte Objekte werden mit einem Begrenzungsrahmen gekennzeichnet. Zudem wird das erkannte Schiff vom Vision-System verfolgt, solange es sich im Sichtfeld befindet. Die daraus resultierende Bewegung wird mit den entsprechenden AIS-Daten verglichen. Der Vergleich der Entfernung und Peilung ist in →03 und der Vergleich der SOG und des COG ist in →04 dargestellt. In beiden Darstellungen entspricht der schattierte Bereich der Unsicherheit vom Tracking-Filter (eine Standardabweichung). Die Entfernung zum Zielschiff variiert von etwa 400 m bis 600 m, während die SOG des Zielschiffs etwa 15 m/s beträgt. Der Fehler in der geschätzten Entfernung liegt bei unter 10 Prozent. Die Schätzungen der SOG und des COG liefern die notwendigen Eingaben zur Berechnung des CPA und der TCPA.

Water clearance

→05 zeigt eine Folge von Bildern, die von der Ausguckkamera der MS Finlandia beim Verlassen des Hafens von Tallinn aufgenommen wurde. Das Schiff liegt zunächst mit dem Bug voraus am Kai, bevor es zurücksetzt und eine Drehung um 180° vollzieht. In der Bildfolge ist das Wasser grün dargestellt. Orange Linien und die dazugehörigen Label zeigen den Abstand zwischen dem Rumpf und dem ersten Hindernis in vorgegebenen Richtungen. →06 zeigt eine Karte der Wasserflächen mit den umliegenden Hafenanlagen. Eine solche visuelle und numerische Information zur Water Clearance kann der Besatzung wertvolle Unterstützung beim Manövrieren bieten oder zur Erhöhung der Sicherheit von autonomen Abläufen genutzt werden.

→07 zeigt den Vergleich des geschätzten Abstands entlang der Mittelachse mit den realen Werten (Ground Truth). Diese wurden mithilfe von Karten und der GPS-Position des Ego-Schiffs errechnet. Der relative Fehler liegt bei unter 5 Prozent, was für viele Anwendungen mehr als ausreichend ist. Die kleine Diskrepanz bei etwa 300 s ist auf eine Laderampe zurückzuführen, die in den verwendeten Karten nicht verzeichnet ist. Dies unterstreicht einen Vorteil dieser Technologie gegenüber Karten, die veraltet sein können. Ein weiterer Vorteil liegt in den geringeren Kosten für diese Technologie im Vergleich zu einem LIDAR-basierten System.

Marine Pilot Vision

Die in diesem Artikel vorgestellte Forschung ist von zentraler Bedeutung für die Entwicklung autonomer Lösungen für Schiffe. ABB Ability™ Marine Pilot Vision ist Bestandteil des ABB-Portfolios für autonome Lösungen. Das System ermöglicht ein besseres Situationsbewusstsein, indem es Informationen von Entfernungsmessungen und anderen Quellen kombiniert und sowohl

05 Bildfolge von der Ausguckkamera der MS Finlandia beim Verlassen des Hafens von Tallinn. Die Karte der Water Clearance und die Abstände in verschiedenen Richtungen werden in Echtzeit aus dem Kamera-Stream errechnet.

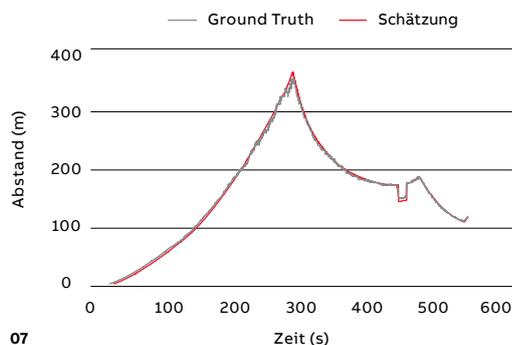
05a Die MS Finlandia kurz vor dem Ablegen.

05b Die MS Finlandia kurz nach dem Ablegen.

05c Die MS Finlandia beginnt eine Drehung nach Steuerbord in Richtung des Hafenausgangs.

06 Karte der Water Clearance zu →05b. Das Wasser ist grün, die aus Seekarten entnommenen Hafenanlagen sind dunkelgrau dargestellt.

07 Geschätzte Water Clearance und reale Abstände (Ground Truth) entlang der Mittelachse für die in →05 dargestellte Bildfolge.



für menschliche Bediener als auch für autonome Steuerfunktionen bereitstellt.

ABB Ability™ Marine Pilot Vision ist nicht auf externe Infrastruktur angewiesen. Bilddatenströme von Kameras können analysiert werden, und die Karte der Water Clearance rund um das Schiff kann errechnet werden. Der Abstand vom Rumpf zum nächstgelegenen Kai oder schwimmenden Hindernis lässt sich ebenfalls bestimmen [PAT-3].

Die bildverarbeitungs-basierte Bestimmung der Water Clearance kann zur Unterstützung bei Anlege- und Hafenmanövern genutzt werden. Docking-Kameras ermöglichen die Überwachung von Bereichen, die von der Brücke aus nicht einsehbar sind. Die Abstände können in den Karten- und Kameraansichten von Marine Pilot Vision dargestellt werden. Die bildverarbeitungs-basierte Schiffserkennung kann zur Unterstützung anderer Zielerkennungsfunktionen (z. B. AIS und Radar) verwendet werden, um die Erkennung von Schiffen ohne AIS und Schiffen mit geringer Radarsignatur zu ermöglichen und Bereiche abzudecken, die von der Besatzung nicht kontinuierlich

beobachtet werden. Die Ergebnisse können zur Unterstützung des Ausgucks und zur Zielverfolgung im Nahbereich genutzt werden. Lokalisierte Objekte werden in den Karten- und Kameraansichten von Marine Pilot Vision dargestellt.

Der Blick nach vorn

Die ersten aus der hier beschriebenen Forschungsarbeit resultierenden Funktionalitäten sind bereits in Pilotprojekten auf Fähren in Skandinavien und Schleppern in den USA im Einsatz. Die Pilotprojekte bieten die Möglichkeit, eine Vielzahl von Daten zu erfassen und wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen, um die Entwicklung und Kommerzialisierung solcher Systeme voran-

Die ersten Funktionalitäten sind bereits in Pilotprojekten in Skandinavien und den USA im Einsatz.

zutreiben. Fortschrittliche Schiffsbetreiber haben ein klares Interesse daran, ihre Besatzungen mit Systemen zur Verbesserung des Situationsbewusstseins zu unterstützen. Allerdings gibt es aus regulatorischer Sicht noch viel zu tun, bis entsprechende Tools als vollwertiges Crewmitglied betrachtet werden können²⁾. Die Forschung soll dabei helfen, das Potenzial bildverarbeitungs-basierter Lösungen (in diesem Fall eines monokularen Vision-Systems) und die dazugehörigen Vorteile, die sich aus der Integration in Sicherheitssysteme für die Schifffahrt ergeben, zu realisieren. •

Fußnote

²⁾ ABB und die One-Sea-Partner nutzen das durch die Entwicklung dieser Technologien gewonnene Know-how zur Bestimmung regulatorischer Anforderungen für elektronische Ausgucke und andere Lageerfassungssysteme gegenüber der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO). Dies unterstützt die Entwicklung entsprechender Regularien, die 2028 verabschiedet werden sollen. Die One Sea Association ist ein weltweiter, nicht profitorientierter Zusammenschluss führender Hersteller, Integratoren und Betreiber maritimer Technik, digitaler Lösungen sowie automatisierter und autonomer Systeme. Der Verband befasst sich mit der Entwicklung des internationalen Rechtsrahmens und ist an der Normungsarbeit beteiligt [6].

Literaturhinweise

[1] United Nations Conference on Trade and Development, Genf. *Review of Maritime Transport 2022*, S. 62.

[2] United Nations Conference on Trade and Development, Genf. *Review of Maritime Transport 2022*, S. xvii.

[3] K. Tervo: „Auf Zukunftskurs“. *ABB Review* 02/2022, S. 10–17.

[4] R. Hamann, P. C Sames (2022): „Updated and expanded casualty analysis of container

vessels“. *Ship Technology Research* 69(3), S. 158–169. DOI: 10.1080/09377255.2022.2106218.

[5] D. W. Dyer: „Power of Intention: Change the Way You Look at Things and the Things You Look at Will Change“. Hay House Uk Ltd, 2004.

[6] <https://one-sea.org/>

[PAT-1] „Method for labelling a water surface within an image, method for providing a training dataset for training, validating, and/or testing a

machine learning algorithm, machine learning algorithm for detecting a water surface in an image, and water surface detection system“. Europäische Patentanmeldung Nr. EP22180133.5 vom 21.06.2022.

[PAT-2] „Method for determining a vessel-water interface, and method and system for determining a positional relationship between an ego vessel and a target vessel“. Europäische Patentanmeldung Nr.

EP22180131.9 vom 21.06.2022.

[PAT-3] „Method and system for determining a region of water clearance of a water“. Europäische Patentanmeldung Nr. EP22212496.8 vom 09.12.2022.

[PAT-4] „Method and a system for calibrating a camera“. Europäische Patentanmeldung Nr. EP22200130.7 vom 06.10.2022.

[PAT-5] „Method and system for determining a precise value of at least one pose parameter of an ego vessel“. Europäische Patentanmeldung Nr. EP23158743.7 vom 27.02.2023.

Diesen Artikel teilen



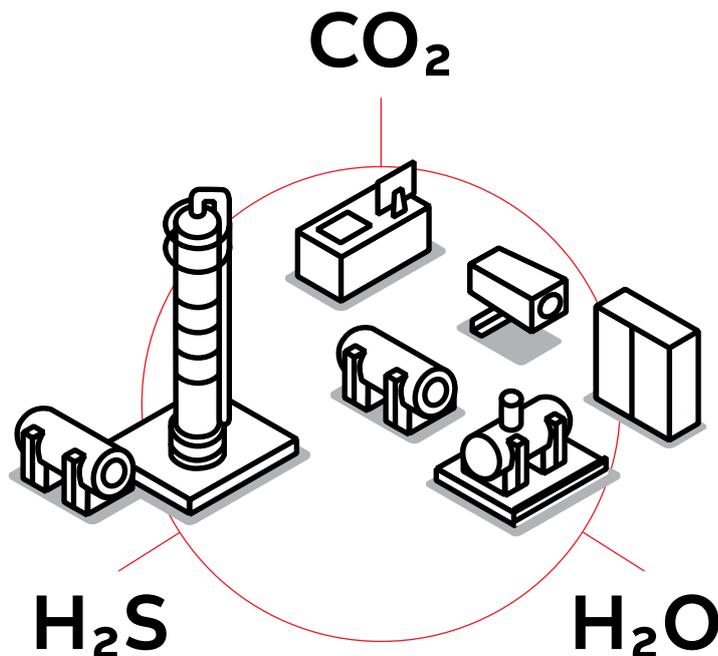
—

ECHTZEIT-MESSUNG VON GASVERUNREINIGUNGEN DURCH
LASERBASIERTE SPEKTROSKOPISCHE ANALYSE

Das Multitalent

Mit dem Sensi+™ präsentiert ABB einen kompakten Analysator für Verunreinigungen in Erdgas, der auf einer einzigartigen Laser-Absorptionstechnologie namens OA-ICOS (Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy) basiert. Die Technologie ermöglicht die präzise, zuverlässige und gleichzeitige Echtzeit-Messung von korrosiven Substanzen wie Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid und Wasser →01–02 in komplexen und zeitlich veränderlichen Erdgasströmen.





01

—
01 Sensi+ schützt Erdgasleitungen, Speicheranlagen und andere kritische Betriebsmittel.

Betreiber von Gasleitungen stehen häufig vor einem Dilemma: Einerseits müssen sie die Verunreinigungen in ihren Erdgasnetzen minimieren, da diese Korrosion verursachen und somit eine erhebliche Gefahr für das Geschäft darstellen können. Andererseits ist dies häufig mit hohem

vorgeschrieben. Zudem tolerieren viele industrielle Produktionsprozesse keine übermäßige Verunreinigung mit diesen Substanzen, weshalb eine Überwachung und Steuerung der Gasqualität erforderlich ist, um betriebliche Vorgaben und Produktionserträge zu erfüllen.

H₂S, CO₂ und H₂O stellen ein Sicherheitsrisiko und eine Gefahr für Rohrleitungen dar.



Stefan Parmentier
Process Automation
Québec, Kanada

stefan.parmentier@
ca.abb.com

Frustrationspotenzial verbunden, da normalerweise zahlreiche Technologien und Geräte benötigt werden, um mögliche Verunreinigungen unabhängig voneinander zu erkennen. Dieser traditionelle Ansatz ist komplex, fehleranfällig und teuer, da für jede Verunreinigung ein eigener Analysator mit entsprechendem Wartungsplan sowie besondere Kenntnisse für den Betrieb und die Validierung erforderlich sind.

Dennoch bieten heutige Analysatoren häufig eine suboptimale Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit, liefern insbesondere bei Prozessstörungen falsche Werte und sind aufgrund der verwendeten Technologien (siehe unten) wie Bleiacetatpapier, UV-Analysatoren, herkömmliche TDL-Analysatoren (Tunable Diode Laser) und Analysatoren mit Taupunktspiegel mit einer mühsamen und zeitaufwändigen Wartung an entlegenen Standorten verbunden.

Es folgt ein Überblick über die drei wichtigsten Erdgasverunreinigungen und die bislang zu deren Erkennung eingesetzten Technologien.

H₂S

Rohes, unbehandeltes Erdgas enthält H₂S, ein Gas, das Rohrleitungen, Speicheranlagen und Gasturbinen beschädigen kann und eine Gefahr für den Menschen darstellt. Auch wenn die Konzentration von H₂S in Erdgas geografisch variiert (vom ppm-bis in den Prozentbereich), muss H₂S aufgrund seiner Giftigkeit, Entflammbarkeit und Korrosivität in allen Schritten vom Bohrloch bis zum Kunden überwacht werden.

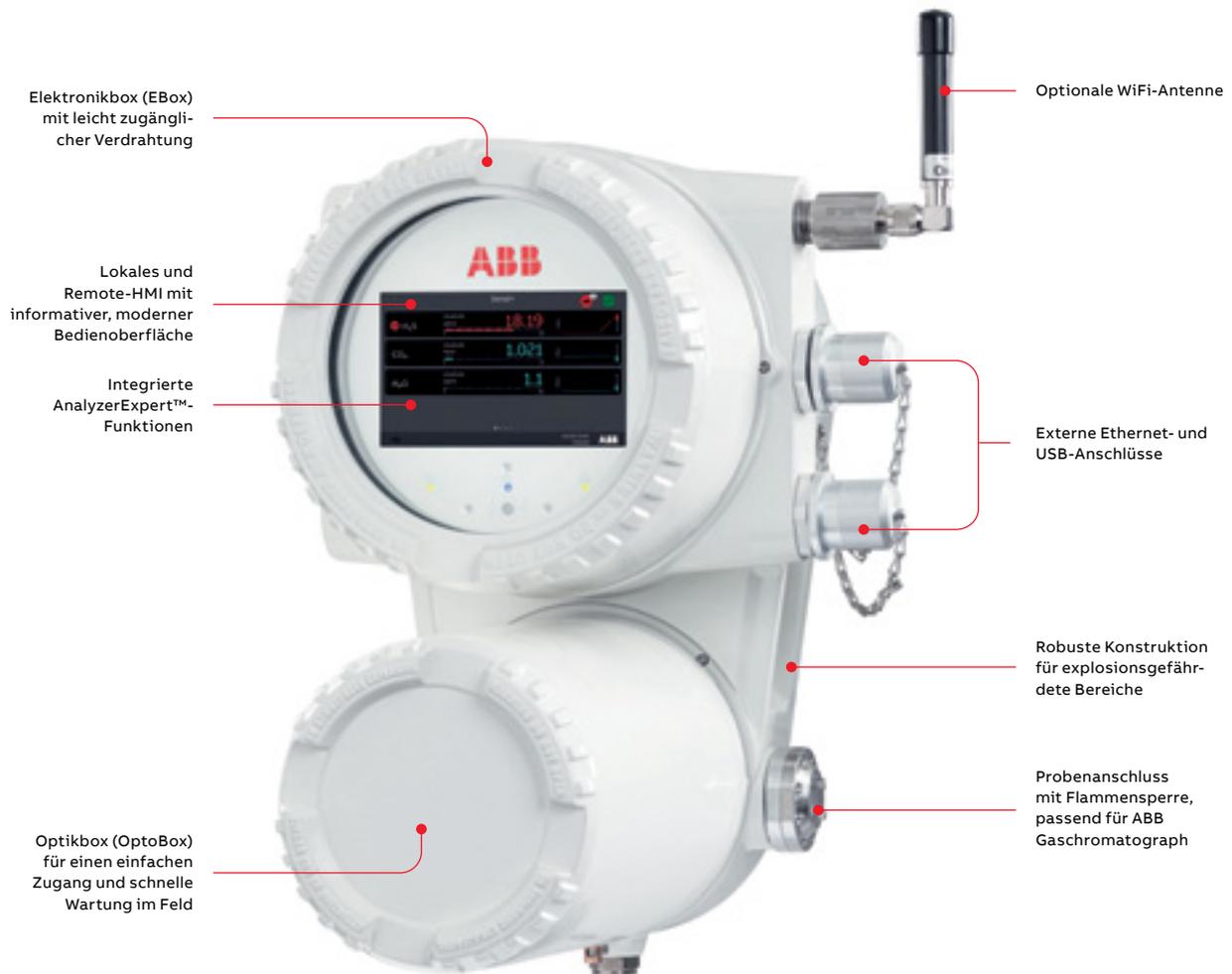


Kyle Owen
Process Automation
San Jose, CA, USA

kyle.owen@us.abb.com

Verunreinigungen in Erdgas wie Schwefelwasserstoff (H₂S), Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) stellen sowohl ein Sicherheitsrisiko als auch eine Gefahr für die Integrität der Rohrleitung dar. Bleiben sie unerkannt, können sie Korrosion innerhalb der Erdgasinfrastruktur, insbesondere in Rohrleitungen und Speicheranlagen sowie anderen kritischen Einrichtungen, verursachen und schließlich zum Versagen von Rohrleitungen führen. Daher sind im eichpflichtigen Verkehr kontinuierliche Messungen dieser Zielsubstanzen

Herkömmliche Analysatoren auf der Basis von Bleiacetatpapier können zwar H₂S erkennen, sind aber im Hinblick auf den Austausch und



02

die umweltgerechte Entsorgung des Bleiacetats mit hohen Wartungsanforderungen verbunden. Auch die Zuverlässigkeit kann problematisch sein. Online-Gaschromatographen benötigen drei bis sechs Minuten, um Messungen zu aktualisieren, und sind daher nicht in der Lage,

CO₂ kann mit H₂S und H₂O zu Verbindungen reagieren, die Stahlrohrleitungen angreifen.

schnelle Veränderungen im H₂S-Gehalt zu erkennen. Außerdem erfordern Gaschromatographen Verbrauchsmittel wie Trägergas und Brenngase.

Analysatoren, die Breitband-UV-Lichtquellen und schmale Bandpassfilter nutzen, sind anfällig für Störungen durch Schwankungen der Hintergrundgas-Konzentrationen. Hinzu kommt eine relativ kurze Lebensdauer der Lampen. Herkömmliche TDL-basierte Methoden erfordern häufig chemische Waschverfahren und

Vorwissen über den Gasstrom, bieten aber keine vergleichbare Geschwindigkeit, Empfindlichkeit, Selektivität oder Genauigkeit und sind nicht wie das Produkt von ABB in der Lage, verschiedene Verunreinigungen in einem einzigen Gehäuse zu erkennen.

CO₂

Kohlendioxid kommt als natürlicher verdünnender Bestandteil in Öl- und Gaslagerstätten vor und kann mit H₂S und H₂O zu Verbindungen reagieren, die wiederum Stahlrohrleitungen angreifen können. Darüber hinaus senkt ein übermäßiger CO₂-Gehalt den Heizwert von Erdgas. Aus diesem Grund muss der CO₂-Anteil in Rohrleitungen überwacht und bei Bedarf gesteuert werden. Frisch gefördertes Erdgas kann bis zu 30 Prozent CO₂ enthalten. Die Abtrennung von CO₂ erfolgt mithilfe von Membranverfahren oder in großen Aminanlagen.

In Verarbeitungsanlagen und Übergabestationen für Erdgas muss eine Messung der Kohlendioxidkonzentration erfolgen, um sicherzustellen, dass das Gas den Qualitätsvorgaben für den Pipelinetransport entspricht.

—
02 Sensi+ ist ein kompakter Erdgasanalysator, der präzise, zuverlässig und gleichzeitig die drei wichtigsten Verunreinigungen in Erdgasströmen misst.

—
03 Bei der OA-ICOS-Technologie wird der Laserstrahl außeraxial in den Resonator eingekoppelt. Dort wird das Licht zwischen hochreflektierenden Spiegeln hin und her reflektiert, sodass es über eine sehr lange effektive Weglänge mit dem Messgas interagiert. Dies ermöglicht robuste, empfindliche Messungen.

Bisher werden zur Analyse des CO₂-Gehalts von Erdgas Verfahren wie Gaschromatographie und Absorptionsspektroskopie mit Infrarot-Lichtquellen oder Diodenlasern eingesetzt. Wie bereits erwähnt, benötigen Gaschromatographen Verbrauchsmittel und reagieren eher langsam, während bei IR-basierten Analysen die Empfindlichkeit zu wünschen übrig lässt. Traditionelle TDL-basierte Verfahren nutzen für gewöhnlich Einzelgasanalysatoren, bei denen Querempfindlichkeitseffekte auftreten können.

H₂O

In Erdgas enthaltenes Wasser verursacht Korrosion in Rohrleitungen und verstärkt die Wirkung anderer Verunreinigungen, indem es sich zu Säuren verbindet, die Rohre, Ventile und andere Einrichtungen aus Kohlenstoffstahl angreifen und so im Laufe der Zeit für interne Korrosion und Metallverlust sorgen. Phasenübergänge im

kristall-Mikrowaagen und Taupunktspiegeln sind zwar sehr empfindlich, können aber Wasser nicht von anderen kondensierenden Molekülen unterscheiden. Außerdem sind sie korrosionsanfällig, da sich der Sensor in direktem Kontakt mit dem Gas befindet. Taupunktspiegelsensoren reagieren nur langsam auf Störungen durch thermische Äquilibrierungsvorgänge und erholen sich auch nur langsam davon. Ähnlich wie H₂S-Sensoren erfordern herkömmliche TDL-basierte Methoden für H₂O häufig chemische Waschverfahren, um H₂O von Hintergrundgasen zu unterscheiden.

Die Sensi+-Lösung

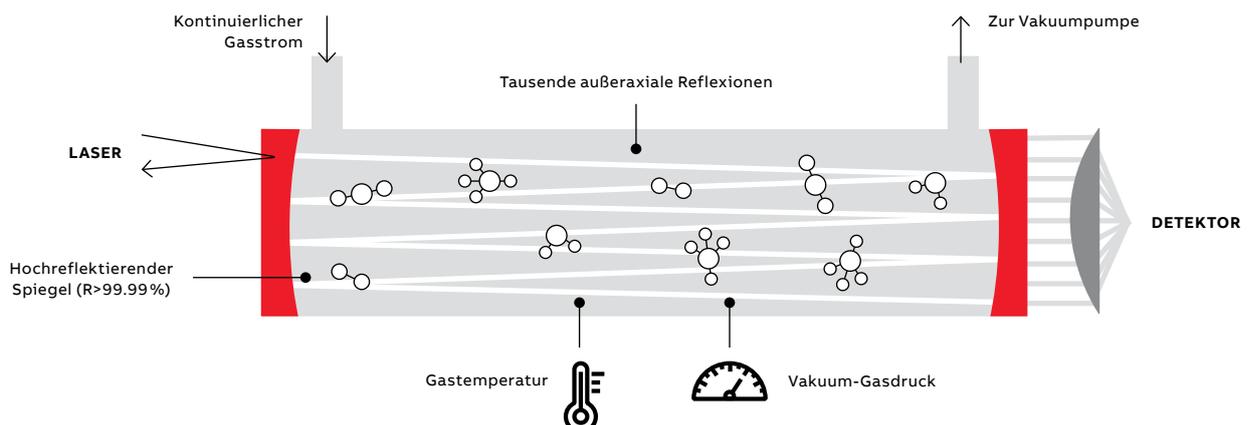
Um eine sichere Erkennung von H₂S, CO₂ und H₂O zu gewährleisten, hat ABB mit Sensi+ einen kompakten Erdgasanalysator entwickelt, der in der Lage ist, die genannten Substanzen in Erdgasströmen präzise, zuverlässig, gleichzeitig und in Echtzeit zu messen. Im Gegensatz zu bisherigen Lösungen, die mit vielen Nachteilen verbunden sind, ermöglicht Sensi+ eine erhebliche Senkung der Investitions- und Betriebskosten und reduziert den Platzbedarf. Dabei funktioniert Sensi+ automatisch mit einer Vielzahl von Erdgasgemischen, ohne dass eine Kalibrierung vor Ort erforderlich ist. Darüber hinaus sorgt der geringe Probandurchsatz für äußerst niedrige Emissionen.

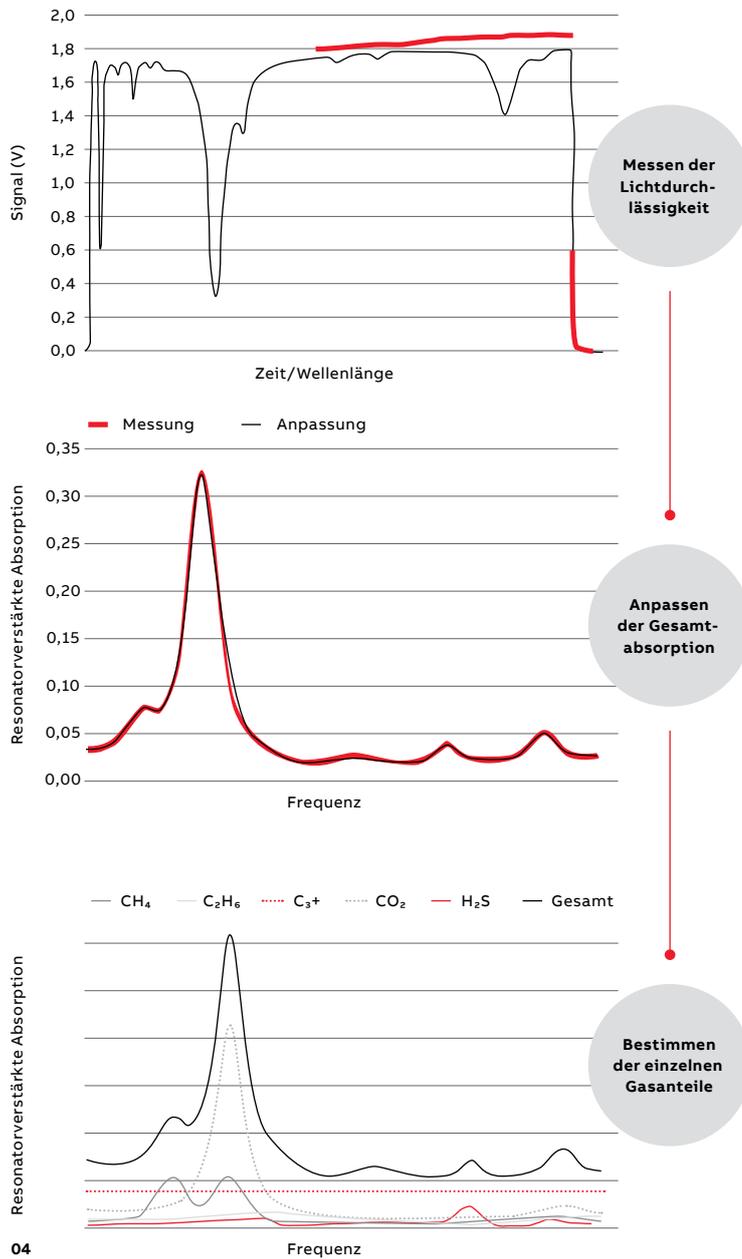
Sensi+ funktioniert automatisch mit einer Vielzahl von Erdgasgemischen.

Wasser aufgrund von Temperatur- und Druckschwankungen können die Korrosion in Rohrleitungen zusätzlich beschleunigen.

Zu den Messtechnologien, die traditionell zur Messung von Wasserdampf in Erdgasleitungen eingesetzt werden, gehören elektrochemische und elektromechanische Verfahren ebenso wie herkömmliche TDL-basierte Methoden, die allerdings mit erheblichen Einschränkungen verbunden sind. So sind elektromechanische Sensoren anfällig für Drift, Querempfindlichkeit und Verschmutzung und müssen häufig gewartet bzw. ausgetauscht werden. Sensoren mit Quarz-

Die einzigartige Laser-Absorptionstechnologie von ABB namens OA-ICOS™ (Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy) →03-04 ermöglicht empfindliche Messungen dank eines kleinen Resonators mit einer mehrere Kilometer langen effektiven Weglänge und ist gleichzeitig robuster als herkömmliche Multi-Pass- oder Resonatorverfahren. Das modulare Design, die moderne Bedienoberfläche und die umfassenden Informationen zum Systemzustand ermöglichen eine einfache Bedienung und Fehlerbehebung aus der Ferne, was die Notwendigkeit teurer, zeitaufwändiger und möglicherweise unnötiger Besuche vor Ort reduziert. So kann das fortschrittliche Design des Analysators in Kombina-





04

tion mit integrierter Hardwareredundanz und der Möglichkeit zur Ferndiagnose dabei helfen, sowohl unnötige Stillstandzeiten als auch teure Vor-Ort-Eingriffe zu vermeiden.

Sensi+ bietet folgende Vorteile:

- Gleichzeitige Messung von bis zu drei Gasverunreinigungen. Ein einzelner, kompakter Analysator auf Basis der Multiplex-Laser-Absorptionsspektroskopie spart Platz und beseitigt die Notwendigkeit von mehreren Analysatoren. Implementierung, Betrieb und Wartung werden vereinfacht, ohne die Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen.
- Schnelle Reaktion und Erholung sorgen für minimalen Produktverlust und maximale Betriebszeit bei gleichzeitiger Gewährleistung der Anlagensicherheit und -produktivität. Dank der kurzen Ansprechzeit kann das Bedienpersonal auf Prozessanomalien reagieren und Pipelinegas mit einem außergewöhnlich hohen Anteil an Verunreinigungen umleiten. Zudem erholt sich der Analysator schnell, nachdem er Strömen mit erhöhten Konzentrationen von Verunreinigungen ausgesetzt war.
- Bewährte laserbasierte Technologie in Kombination mit neuesten spektroskopischen Analyseverfahren bietet höchste Genauigkeit, Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit. Seit über

Das System spart Platz und beseitigt die Notwendigkeit von mehreren Analysatoren.



05



06

—
04 Dank der Empfindlichkeit der OA-ICOS-Technologie in Kombination mit fortschrittlichen spektroskopischen Algorithmen lassen sich komplexe Erdgas-Absorptionsspektren in einzelne Gasanteile trennen.

—
05 Die Sensi+ Bedienoberfläche liefert kontinuierlich detaillierte digitale Zustandsmetriken in Echtzeit.

—
06 Dank Ferndiagnose kann Sensi+ die Notwendigkeit von Vor-Ort-Eingriffen erheblich reduzieren.

—
Literaturhinweise

[1] „Sensi+ GLA533-NG: Take immediate action with fast instrument response times“. ABB White Paper. Verfügbar unter: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=WP%2FSensiPlus%2FGLA533-NG_ResponseTime_EN_Letter (abgerufen am 13.09.2023).



15 Jahren bildet die LGR-ICOS™ Laser-Absorptionstechnologie von ABB das Herzstück der zuverlässigsten Gasanalysatoren für Anwendungen mit höchsten Leistungsansprüchen. Diese Technologie wurde nun mit spezieller Elektronik, einem für die Installation in explosionsgefährdeten Bereichen geeigneten Gehäuse und fortschrittlichen spektroskopischen Analysealgorithmen modernisiert. Das Ergebnis ist ein System, das genaue Messungen in komplexen und zeitlich veränderlichen Erdgasgemischen mit minimalen Querempfindlichkeiten ermöglicht und dabei ohne chemische Wäscher auskommt [1].

- Ein großer Dynamikbereich unterstützt die Messung von Gaskonzentrationen über mehrere Größenordnungen hinweg. Keine andere Technologie erlaubt die zuverlässige Messung von Verunreinigungen in sehr niedrigen und sehr hohen Konzentrationen für eine breite Palette von Anwendungen mit einem einzigen Instrument.
- Dank der robusten Lasertechnologie braucht die Lichtquelle nicht ausgetauscht zu werden. ABB-Analysatoren nutzen Nahinfrarot-Diodenlaser, die unabhängig von den Umgebungsbedingungen viele Jahre lang dauerhaft und zuverlässig betrieben werden können.
- Das explosionsgeschützte Gehäuse des Sensi+ wurde für eine einfache Installation und den Einsatz in explosionsgefährdeten Umgebungen konzipiert. Dank des zertifizierten Dual-Seal-Konzepts ist keine zusätzliche Prozessdichtung erforderlich. Zudem erfüllt der Analysator folgende globale Bereichsklassifizierungen für die Erdgasindustrie: Klasse I, Division 1, Gruppen B, C, D T6; Klasse I, Zone 1, AEx/Ex db IIB + H2 T6 Gb, Ex db IIB + H2 T6 Gb, ATEX/UKCA II 2 G Ex db IIB + H2 T6 Gb
- Eine einfache und umfassende Bedienoberfläche →05 liefert kontinuierlich detaillierte digitale Zustandsmetriken in Echtzeit. Das

moderne Design der Oberfläche informiert zuverlässig über den Funktionszustand des Systems und ermöglicht eine schnelle und einfache Wartung.

- Eine komfortable und cybersichere Konnektivität ermöglicht eine 24/7-Überwachung aus der Ferne über branchenübliche Kommunikationsprotokolle. Eine sichere Ethernet-fähige Webschnittstelle (HTTP) liefert umfassende Diagnose-, Instrumentierungs-, Konfigurations- und Messinformationen.

Insgesamt zeichnet sich die LGR-ICOS Laser-Technologie von ABB durch eine unübertroffene Messgenauigkeit unter allen Prozessbedingungen, höchste Zuverlässigkeit des Analysators und nied-

—
Keine andere Technologie erlaubt derart zuverlässige Messungen mit einem einzigen Instrument.

rigste Betriebskosten aus →06. Mit den marktführenden Erdgas-Chromatographen der NGC-Serie und dem neuen Sensi+ bietet ABB als erstes Unternehmen eine komplette Gasqualitätslösung, die Zusammensetzungs- und Verunreinigungsmessungen in einem umfassenden, kompakten und wirtschaftlichen Messsystem kombiniert. •

Diesen Artikel teilen



BETRIEBLICHE OPTIMIERUNG VON DREHZAHLGEREGLTEN ANTRIEBSSYSTEMEN

Wahlverwandtschaften

Wie reagiert ein drehzahlgeregeltes Antriebssystem auf plötzliche Veränderungen der Betriebsbedingungen? Welche potenziellen Risiken bestehen im Hinblick auf Schäden an Betriebsmitteln, wenn sich die Quelle und/oder die Last verändert? Fragen wie diese plagen Ingenieure und zwingen Unternehmen dazu, teure Modelle zu erstellen und zu testen. Die digitalen Zwillinge für Mittelspannungs-Frequenzumrichter von ABB sind in der Lage, die mit praktischen Hardwareprüfungen verbundenen Unsicherheiten und Risiken zu beseitigen und dafür zu sorgen, dass das reale System dabei keinen Schaden nimmt →01.

—
Peter Al-Hokayem
Ulrich Schlapbach
Federico Bertoldi
Pieder Joerg
 Innovation Team Motion
 Services
 Turgi, Schweiz

peter.al-hokayem@
 ch.abb.com
 ulrich.schlapbach@
 ch.abb.com
 federico.bertoldi@
 ch.abb.com
 pieder.joerg@
 ch.abb.com

Drehzahlgeregelte Antriebe (engl. Variable Speed Drives, VSDs) bilden das Rückgrat von Industrieanwendungen, Transportsystemen und Energieinfrastrukturen – kurz gesagt, von den

—
Ein digitaler Zwilling kombiniert digitale Aspekte mit Echtzeit-Aspekten des Betriebs und der Wartung.

meisten unternehmenskritischen Anwendungen →02. Doch da für gewöhnlich der Prozess der Stromumwandlung (Wechsel- zu Gleichstrom und umgekehrt) im Mittelpunkt steht, wird häufig

nur ein einzelner elektrischer Antrieb betrachtet, und komplexe Systemwechselwirkungen werden leicht übersehen →03. Angesichts dieser Tatsache setzen Ingenieure zunehmend auf digitale Zwillinge als Lösung zur Prüfung, Validierung und Steigerung der anlagenweiten Performance.

Ein digitaler Zwilling (hier auch „Simulation Twin“ oder „ST“ genannt) ist ein vollständiges und funktionstüchtiges virtuelles Abbild einer Anlage, eines Teilsystems oder Systems, das digitale Aspekte des Aufbaus mit Echtzeit-Aspekten des Betriebs und der Wartung kombiniert. STs bieten eine sichere Umgebung, um die Risiken bei der Installation neuer Antriebssysteme, Erweiterung vorhandener Anlagen und Modernisierung installierter Ausrüstung zur Leistungssteigerung zu reduzieren. Sei es zur Durchführung komplexer Integrations-tests, zur Optimierung von Antriebsparametern,



01



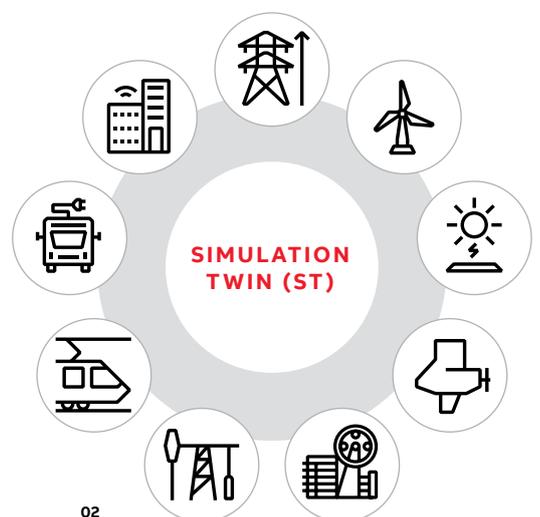
—
01 Ingenieure setzen zur Validierung und Steigerung der anlagenweiten Performance zunehmend auf digitale Zwillinge.

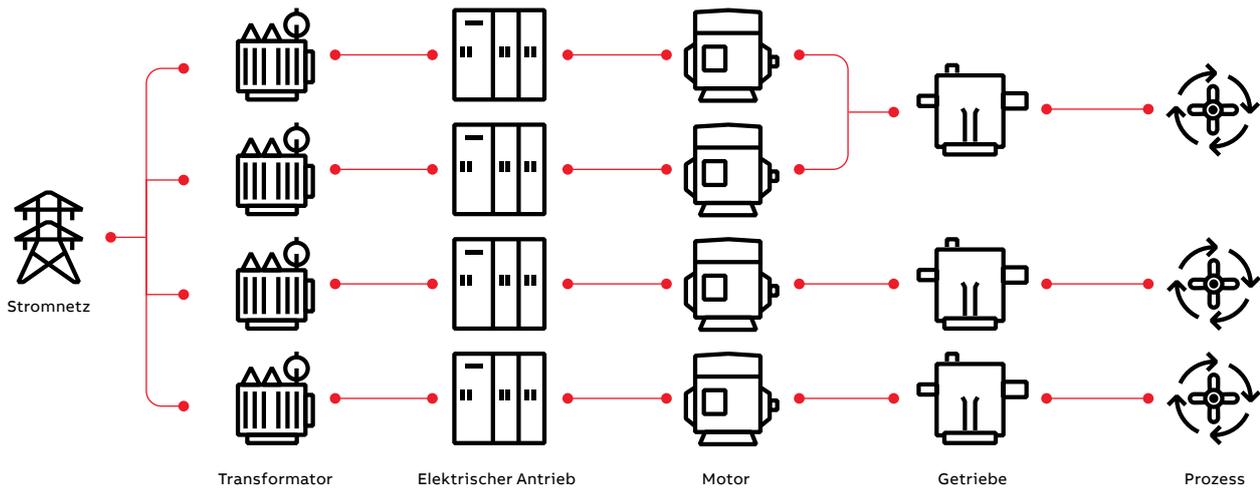
—
02 Unternehmenskritische Anwendungen, die von den Möglichkeiten eines ST profitieren.

zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Umrichtern und anderen elektromechanischen Komponenten oder zur Durchführung von Leistungsflussanalysen – ABB hat ein breites Spektrum von ST-Lösungen entwickelt, das auf die Bedürfnisse von Kunden zugeschnitten ist.

Umfassendes Angebot

Die Verwendung eines digitalen Zwillings anstelle eines realen Antriebsstrangsystems hilft dabei, unnötige Kosten für die Inbetriebsetzung und Parameteroptimierung zu vermeiden. Da mögliche Fehler lediglich den digitalen Zwillings zum Stillstand bringen, ist das Risiko minimal. Jeglicher Schaden, der beim Einsatz realer Ausrüstung aufgetreten wäre, wird vermieden. Auch die Schulung von Personal zur Vermittlung eines besseren Verständnisses für die Hardware gestaltet sich einfacher und kostengünstiger.





03

Digitale Zwillinge können auch als Serviceleistung angeboten werden, wobei ABB die Analyse des Antriebsstrangs übernimmt und dem Kunden ein gebrauchsfertiges Paket bereitstellt. Alternativ kann Kunden ein Zwilling zur Verfügung gestellt werden, wenn diese ihre eigenen Simulationen durchführen möchten. Ganz gleich, für welche Vorgehensweise sich der Kunde entscheidet, ABB kann dabei helfen, die richtige Lösung zu finden.

Insgesamt stehen drei digitale Zwillinge für Mittelspannungs-Frequenzumrichter zur Verfügung →04, die entsprechend der Komplexität der jeweiligen Anwendung und der Tiefe der erforderlichen Tests skalierbar sind:

- Zwilling für Echtzeit-Simulationen (Real-time Twin)
- Zwilling für Simulationen in virtueller Rechnerzeit (Virtual-time Twin)
- Zwilling basierend auf Verhaltensmodellen (Behavioral Twin)

Die Lösungen stellen einen perfekten Mittelweg zwischen Komplexität, Wiedergabetreue gegenüber den realen Systemen und Portabilität dar. In jedem Fall unterstützen ABB-Experten den Kunden bei der Wahl der für seine Bedürfnisse am besten geeigneten Lösung.

Zwilling für Echtzeit-Simulationen

Das Herzstück des ABB-Angebots bildet der Zwilling für Echtzeit-Simulationen →05. Diese Lösung kommt dem installierten Betriebsmittel des Kunden physisch und verhaltensmäßig am nächsten. Sie kommt typischerweise in gefährlichen Umgebungen wie Öl- und Gasanlagen und in Prüfeinrichtungen zum Einsatz, in denen die mit der Prüfung der realen Ausrüstung verbundenen Sicherheits- und Zeitanforderungen zu hoch wären. Der Zwilling umfasst einen modularen Schrank, der ein Eins-zu-Eins-Abbild der Steue-

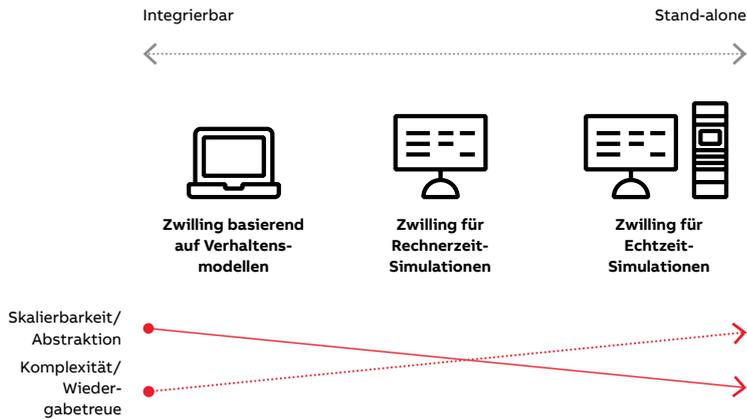
rungs- und Schutzsysteme (Hard- und Software) des Antriebsstrangs in Echtzeit beinhaltet. Zudem ermöglicht er eine realitätsnahe Simulation des physischen Systems einschließlich Stromnetz, Transformator, Umrichter, Motor und Prozess. Ferner kann er mit der Emulation eines übergeordneten Systems oder einer anderen

Der Echtzeit-Zwilling kommt dem installierten Betriebsmittel physisch und verhaltensmäßig am nächsten.

Zwillingsinstallation gekoppelt werden. Mithilfe des Zwillings für Echtzeit-Simulationen lassen sich vollständige Antriebsstrangsysteme vorab testen und verifizieren, was die Risiken mindert und den gesamten Testvorgang beschleunigt. Dabei liefert der Zwilling Ergebnisse, die so nah wie möglich an denen des realen Systems liegen.

Zwilling für Simulationen in virtueller Rechnerzeit

Der Zwilling für Simulationen in virtueller Zeit ist ein PC-basiertes Äquivalent der Echtzeit-Version. Hier ist die Steuerungshardware und -software ebenso wie das physische Antriebsstrangsystem vollständig simuliert. Somit arbeitet dieser Zwilling im Gegensatz zur Echtzeit-Reaktion eines physischen Systems in virtueller Zeit. Dies ist eine ideale Lösung für Kunden in allen Industrien, die von einer anlagenweiten Analyse oder Beurteilung, insbesondere zum Test neuer Konzepte vor der Installation eines Projekts, profitieren können. Zudem eignet sie sich, um Personal die Funktionalität eines realen Systems zu vermitteln und es in der Bedienung von Betriebsmitteln zu



04

—
03 Eine typische komplexe Anlagenkonfiguration mit mehreren prozessübergreifenden drehzahlgeregelten Antrieben.

—
04 ABB bietet drei Arten von digitalen Zwillingen. Die Zwillinge mit Verhaltensmodellen und für Rechnerzeit-Simulationen sind PC-basierte Produkte, Echtzeit-Zwillinge sind eine Mischung aus Hardware-in-the-Loop-Simulatoren und Software.

—
05 Die Steuereinheiten für digitale Zwillinge zeichnen sich durch einen modularen Aufbau aus.

—
06 Customer Journey von der Bestimmung des Bedarfs bis zur Bereitstellung der ST-Lösung und Schulung.

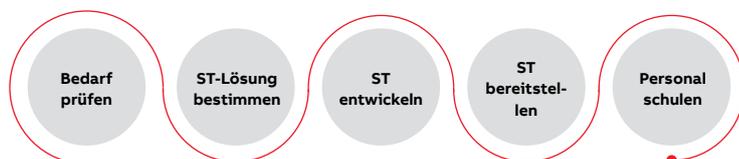
schulen. Der Zwilling für Simulationen in virtueller Zeit lässt sich nahtlos für Systeme mit mehreren Antriebssträngen skalieren.

Zwilling basierend auf Verhaltensmodellen

Dieser digitale Zwilling zeichnet sich durch ein gekapseltes Softwaremodell aus, das vom Kunden definierte Abstraktionen von Antriebsfunktionen simuliert, etwa vereinfachte Systemkomponenten und Steuerungsblöcke. Diese Modelle können in eine größere Simulation integriert werden, zum Beispiel um Stromnetzanalysen durchzuführen, bei denen mehrere Umrichter Teil eines ganzen Netzwerks bilden. Diese Version kann auf mehrere Hundert Einheiten skaliert und in Form einer Functional Mockup Unit (FMU) nahtlos in eine größere Simulationsumgebung wie Matlab/Simulink oder Power Factory integriert werden.

Wahl des richtigen Zwillings

Wenn es darum geht, festzustellen, welcher ST am besten zu den Bedürfnissen eines Kunden passt, ist der erste Schritt eine sorgfältige Analyse. Im Rahmen der Lösungsentwicklung fließen Vorabinformationen über die Anlage in die Lösung ein. Dabei werden Faktoren wie Betriebs Erfahrungen vor Ort, das Netzverhalten, Prozessanforderungen und betriebliche Anforderungen berücksichtigt. Nach Abschluss der Analyse wird entschieden, welche ST-Lösung benötigt wird.



06



05

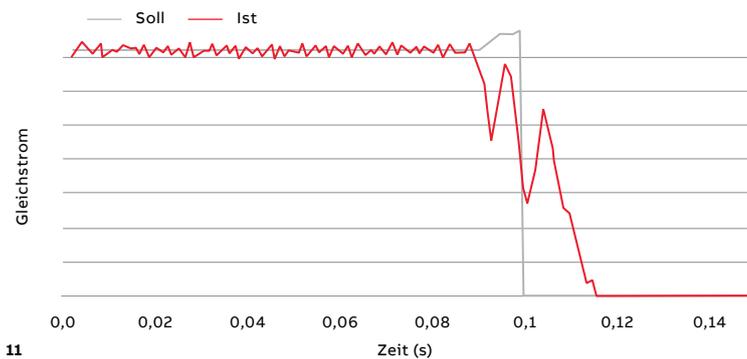
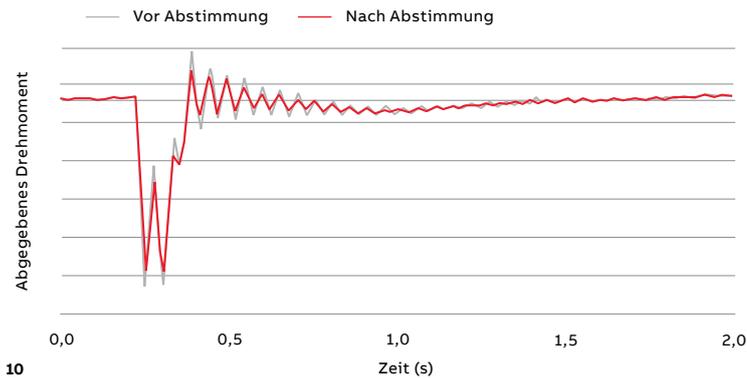
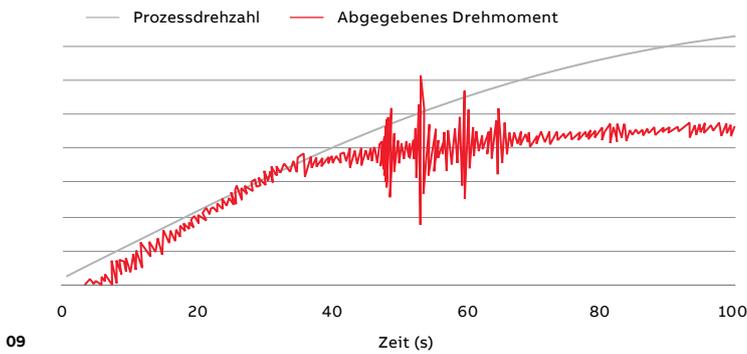
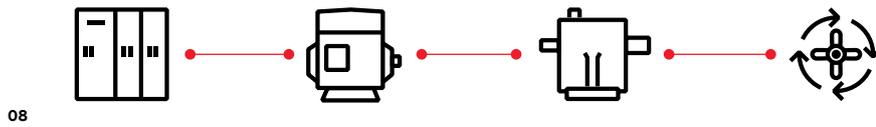
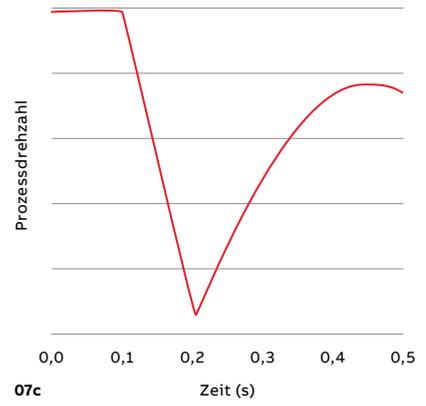
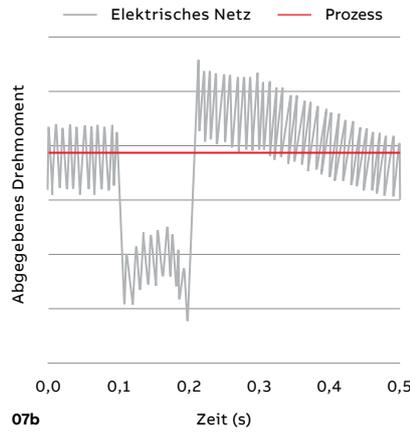
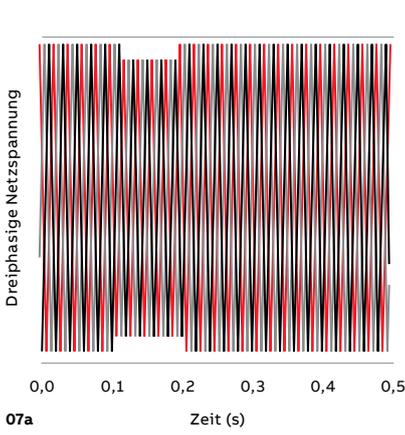
Anschließend modellieren ABB-Experten die Lösung, passen die Software der Lösung an die Umgebung des Kunden an, stellen die Lösung bereit und schulen die Nutzer →06.

Anwendungsbeispiel 1: Überbrückung von Spannungseinbrüchen

Wie bereits erwähnt, bieten digitale Zwillinge eine Reihe von Vorteilen bei der Planung und Modernisierung von Infrastrukturen zur Energie- und Stromumwandlung. Angesichts der zunehmenden Komplexität der Netzanforderungen und der steigenden Anforderungen an die Netzqualität an Anlagenstandorten interessieren sich Betreiber häufig für eine Analyse und Optimierung des Verhaltens eines Antriebssystems infolge transienter Netzereignisse. Die Fähigkeit zur Überbrückung von Spannungseinbrüchen (Low Voltage Ride-Through, LVRT) →07 ist eine

—
STs bieten eine perfekte Umgebung für eine sichere Untersuchung und Abstimmung des Systemverhaltens.

typische Eigenschaft, für die die Bedingungen während der Inbetriebnahme vor Ort nicht so ohne Weiteres erzeugt werden können. Hier können STs eine perfekte Umgebung für eine sichere Untersuchung und Abstimmung des Systemverhaltens bei solchen Ereignissen bieten.



Anwendungsbeispiel 2: Wechselwirkung elektromechanischer Systeme

Drehzahlregelte Antriebe gehören zu den wichtigsten Technologien zur Steigerung der Effizienz von Prozessen, die auf rotierenden Maschinen basieren. In solchen Prozessen wird das Wechselspiel elektromechanischer Systeme für gewöhnlich unterschätzt und als Trägheit des gesamten Antriebsstrangs zusammengefasst. In diesem Fall lassen sich mithilfe von STs die Elemente eines Antriebsstrangs →08 mit einer sehr hohen Wiedergabetreue simulieren. Dies wiederum ermöglicht detaillierte Einblicke und ein genaues Verständnis verschiedener Systemwechselwirkungen und Auswirkungen vom und auf das Stromnetz. Ein

—
 STs können zur optimalen Abstimmung der entsprechenden Regelparmeter verwendet werden.

Beispiel hierfür ist die Analyse der Torsions-schwingungen →09, die durch ein Hochfahren der Prozessdrehzahl in jedem Abschnitt eines Antriebsstrangs entstehen. Anschließend können STs zur optimalen Abstimmung der entsprechenden Regelparmeter verwendet werden, um die mechanischen Schwingungen zu minimieren →10.

Vorteil 1: Schnelle Erkennung und Beseitigung von Anomalien

Die Maximierung der Verfügbarkeit gehört zu den wesentlichen Anforderungen bei unternehmenskritischen Anwendungen. Hier können STs eine bedeutende Rolle bei der effizienten Lösung von

—
07 Beispiel für das LVRT-Verhalten eines Antriebs vom Typ MEGADRIVE-LCI: Nach einem Abfall der Netzspannung sinkt das an den Prozess abgegebene Drehmoment, was zu einem vorübergehenden Einbruch der Prozessdrehzahl führt.

07a Netzspannung.

07b Abgegebenes Drehmoment.

07c Prozessdrehzahl.

—
08 Modell eines Antriebsstrangs mit elektrischem Antrieb, Motor, Getriebe und Prozess.

—
09 STs können Erkenntnisse über Torsionsschwingungen liefern, die durch das Hochfahren der Prozessdrehzahl entstehen.

—
10 ST-basierte Optimierung zur Dämpfung mechanischer Schwingungen. Durch entsprechende Abstimmung kann die Drehmomentwelligkeit bei transienten Vorgängen reduziert werden.

—
11 Die Zeitreihe von einem VSD-Datenlogger zeigt das durch ein transientes Netzeignis hervorgerufene Verhalten.

—
12 STs bieten technischem Personal die Möglichkeit, sich betriebliches Wissen anzueignen.



12

Problemen vor Ort spielen. Liegen Informationen eines Datenloggers über ein Problem vor →11, kann das Szenario mithilfe eines ST eins zu eins reproduziert werden, was genaue Einblicke in die Zeitreihensignale des Zwillingsmodells und der Zwillingssoftware liefert. Experten können diese Informationen dann nutzen, um einen schnellen Weg zur Lösung des Problems zu empfehlen.

Vorteil 2: Integration in größere Simulationen

Zwillinge basierend auf Verhaltensmodellen bzw. Zwillinge für Simulationen in virtueller Rechnerzeit eignen sich ideal, um das Verhalten des Stromnetzes im Hinblick auf Störungen zu untersuchen. Dies gilt besonders für große VSD-Lasten mit 10–100 MW, die das Gesamtverhalten

—
Digitale Zwillinge werden künftig online mithilfe von Messdaten trainiert werden.

des Netzes entscheidend beeinflussen können. So lassen sich z. B. mehrere ST-Versionen in Form von FMUs in größere Simulationen einbinden, um Ereignisse wie Unregelmäßigkeiten im Lastfluss, Kurzschlüsse und das Oberschwingungsverhalten des Netzes zu untersuchen.

Vorteil 3: Schulung

STs können dabei helfen, technischem Personal binnen kurzer Zeit praktische Erfahrung und betriebliches Wissen zu vermitteln →12. Sie bieten Mitarbeitenden die Möglichkeit, sich in

einer sicheren Umgebung mit verschiedenen betrieblichen Szenarien zu befassen und ihr Wissen zu erweitern. So lassen sich zum Beispiel viele Signale von einem Systemmodell und/oder einer Steuerungssoftware extrahieren und visualisieren, um ein besseres Verständnis der verschiedenen stationären und transienten Verhaltensweisen eines Antriebssystems bzw. einer ganzen Systemflotte zu entwickeln.

Fazit

Drehzahlgeregelte Antriebssysteme und die dazugehörigen Prozesse werden zunehmend komplexer. Gleichzeitig werden Netzstandards immer anspruchsvoller. Dies macht digitale Zwillinge zu einer idealen Lösung, wenn es darum geht, die Leistungsfähigkeit solcher Systeme zu beurteilen und zu verbessern. Und da die zugrunde liegenden Modelle mit der Zeit immer weiter verfeinert werden, um eine perfekte Nachbildung der installierten Ausrüstung zu erhalten, können Zwillinge zu wichtigen Bausteinen für neue Installationen werden.

Zukünftig werden digitale Zwillinge online mithilfe von Messdaten trainiert und zur Erkennung von Anomalien oder drohenden Anlagenausfällen genutzt werden. Dies öffnet die Tür für eine bessere Planung und eine deutlich höhere Anlagenverfügbarkeit. •

Diesen Artikel teilen



—

DIE ZUKUNFT DER ELEKTRIFIZIERUNG IM BERGBAU

Integrierte Lösungen

Die Bergbauindustrie ist für bis zu sieben Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Angesichts dieser Tatsache führt an einer Elektrifizierung der Branche kein Weg vorbei, auch wenn dies alles andere als einfach ist. Eine Dekarbonisierung des Sektors erfordert eine beispiellose Beschleunigung der Automatisierung und Digitalisierung, zwei eng miteinander verbundene Faktoren, die durch die Elektrifizierung ermöglicht werden.



Mehrzad Ashnagaran
Business line Mining,
Process Industries
Baden Dättwil, Schweiz

mehrzad.ashnagaran@
ch.abb.com





Der Bergbau ist eine energieintensive Branche, die auf eine stabile Stromversorgung angewiesen ist. Doch da die Qualität der Erze immer weiter sinkt und die Nachfrage nach Rohstoffen steigt, ist ein drastischer Anstieg des Energiebedarfs in der Branche zu erwarten. Andererseits wenden sich Bergbauunternehmen, getrieben von der Forderung nach einer Dekarbonisierung ihrer Betriebe,

—
Die Netzqualität ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Ausrüstung.

zunehmend von fossilen Brennstoffen ab und investieren in Elektrifizierungs-, Automatisierungs- und Batteriespeichertechnologien, um ihre Erztransportfahrzeugflotten, schweren Maschinen und Bewetterungsanlagen zu betreiben →01.

Dazu sind elektrische Umspannstationen erforderlich, die die Spannung aus dem Stromnetz auf das für einen zuverlässigen, kontinuierlichen Betrieb notwendige Niveau hochtransformieren. Solche Unterstationen gewährleisten eine stabile und konsistente Stromversorgung und minimieren die Gefahr von Stromausfällen oder Spannungsschwankungen, die die Funktion von sicherheitskritischen Anlagen und Systemen stören können.

Die dazugehörigen Stromverteilungssysteme sind darauf ausgelegt, zukünftigem Wachstum und steigendem Energiebedarf Rechnung zu tragen. Wenn Bergbauunternehmen expandieren oder neue Bergwerke erschlossen werden, können die Unterstationen entsprechend aufgerüstet werden, um neue Anforderungen hinsichtlich der Stromversorgung zu erfüllen. Dank dieser Skalierbarkeit haben Bergbaubetriebe die Möglichkeit, sich an sich verändernde Bedürfnisse anzupassen und gleichzeitig ihre Produktionsleistung zu maximieren. Dies ist entscheidend im Hinblick auf die Netzqualität der Stromversorgung, die für die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Ausrüstung eine bedeutende Rolle spielt.

In einem Bergwerk kommt eine Vielzahl von elektrischen Maschinen wie Brecher, Förderbän-

der, Pumpen und Motoren zum Einsatz. Diese sind empfindlich gegenüber Schwankungen in der Stromversorgung wie etwa Spannungseinbrüche, Oberschwingungen und Spannungsschwankungen. Eine schlechte Netzqualität kann zu einer verminderten Leistungsfähigkeit, längeren Stillstandzeiten und einem vorzeitigen Ausfall von Betriebsmitteln führen, was wiederum erhebliche finanzielle Verluste für den Betreiber zur Folge hat.

Zudem gelten für Bergbaubetriebe verschiedene Vorschriften und Standards hinsichtlich der Netzqualität, die eingehalten werden müssen, um Konventionalstrafen zu vermeiden.

Angesichts der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien und immer entlegeneren Erzvorkommen ist die Netzqualität umso wichtiger, da mehr

Die Implementierung erneuerbarer Energien hängt von der Stabilität der elektrischen Systeme ab.

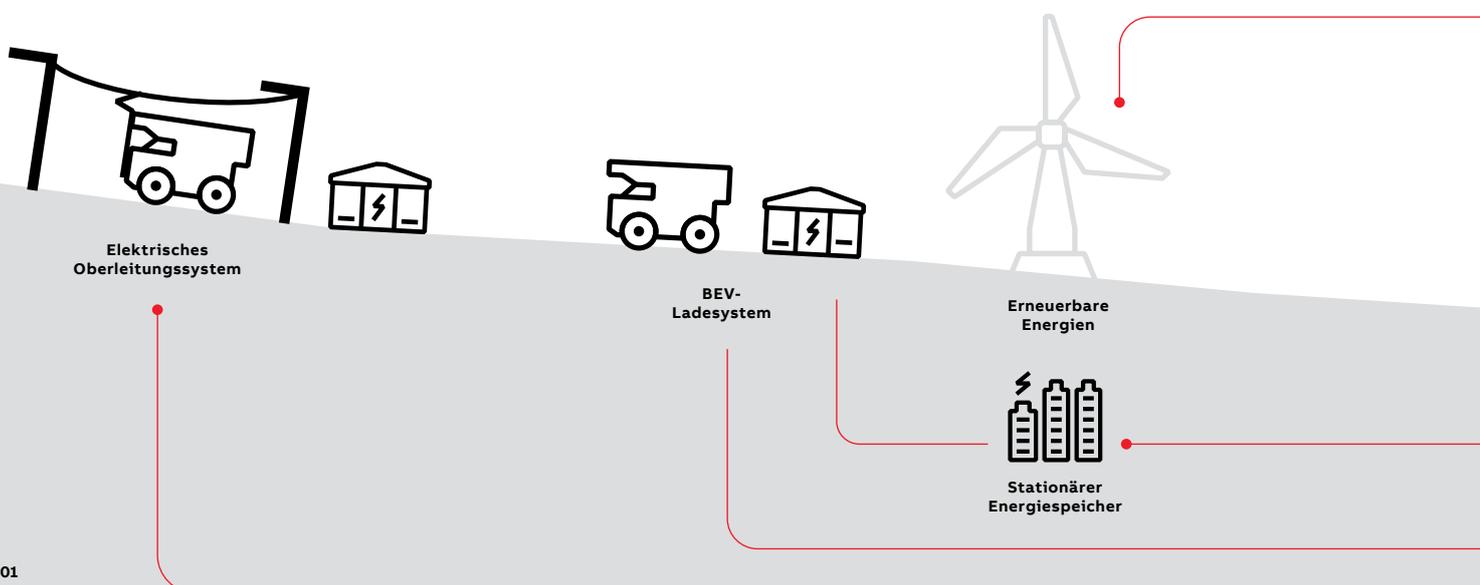
Material abgebaut, verladen, transportiert und verarbeitet werden muss. Kurzum, die Integration erneuerbarer Energien ist zu einem Muss für das Ökosystem geworden, das bei der Konzeption von Bergwerken berücksichtigt werden muss.

Betrieb rund um die Uhr

Die meisten Bergwerke arbeiten größtenteils ohne Unterbrechung, was eine kontinuierliche Energieversorgung rund um die Uhr erfordert. Doch da einige der wichtigsten erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Sonne Schwankungen unterliegen, sind entsprechende Batteriespeichertechnologien erforderlich. Diese Technologien verbessern sich rasch und werden rentabler, auch wenn sie zurzeit noch mit hohen Kosten, einer begrenzten Lebensdauer und einer unsicheren Skalierbarkeit verbunden sind.

Dies begrenzt die Kapazität an erneuerbaren Energiequellen, die in den Bergbaubetrieb integriert werden kann. Außerdem hängt eine erfolgreiche Implementierung erneuerbarer Energien und Energiespeichersysteme von der Stabilität und Zuverlässigkeit der elektrischen Systeme sowie von einer Vielzahl sich entwickelnder Technologien und letztendlich auch der Infrastruktur der Energieversorgungskette ab.

All diese Faktoren machen eines deutlich: Die Netzqualität ist für die Integration erneuerbarer Energiequellen in das Stromnetz von größter Bedeutung. Durch entsprechende Netzqualitätsmaßnahmen kann dafür gesorgt werden, dass die Integration fluktuierender Energiequellen die Stabilität und Zuverlässigkeit des Netzes nicht beeinträchtigt. Solche Maßnahmen sind unverzichtbar, wenn es darum geht, die Spannungs- und Frequenzwerte innerhalb akzeptabler Grenzen zu halten. Bei unzureichender Regelung können sich erneuerbare Energiequellen – beson-



— 01 Konzeptioneller Überblick über die eMine-Lösungen der Zukunft. Die Dekarbonisierung basiert auf der Elektrifizierung von Erztransportfahrzeugflotten und der Integration erneuerbarer Energiequellen.

— 02 Die Dekarbonisierung des Bergbaus erfordert ein grundlegendes Überdenken des Bergwerkbetriebs. Screenshot vom ABB eMine-Video. Sehen Sie das komplette Video auf YouTube:



ders, wenn sie in großen Kapazitäten miteinander vernetzt sind – auf Netzspannungen und -frequenzen auswirken. So können Abweichungen von den Standardwerten für Spannung und Frequenz zu Anlagenstörungen, Beschädigungen oder sogar systemweiten Stromausfällen führen.

Ein wirksames Netzqualitätsmanagement ermöglicht eine nahtlose Integration erneuerbarer Energiequellen bei gleichzeitiger Sicherung der Netzstabilität und Verhinderung von Spannungs- und Frequenzschwankungen.

Reduzierung von Oberschwingungen

Die Anbindung von regenerativen Energiesystemen, insbesondere von Systemen auf der Basis von Leistungselektronik, kann zu Oberschwingungen im Netz führen. Oberschwingungen sind unerwünschte Störungen der Strom- bzw. Spannungswellenform, die sich negativ auf die Leistungsfähigkeit anderer angeschlossener Geräte und Anlagen auswirken können. Gängige Netzqualitätsmaßnahmen umfassen den Einsatz von Oberschwingungsfiltern, aktiven Strom- und Spannungsaufbereitern sowie ein entsprechendes Systemdesign zur Minimierung von Oberschwingungen und Sicherung einer sauberen Strom- und Spannungswellenform. Kurz gesagt, Netzqualitätsmaßnahmen spielen für die Integration erneuerbarer Energiequellen eine entscheidende Rolle, da sie für Netzstabilität, Spannungs- und Frequenzreglung, Leistungsfaktorkorrektur und die Reduzierung von Oberschwingungen sorgen. Sind hohe Netzqualitätsstandards gewährleistet, können erneuerbare Energiesysteme nahtlos in das Netz

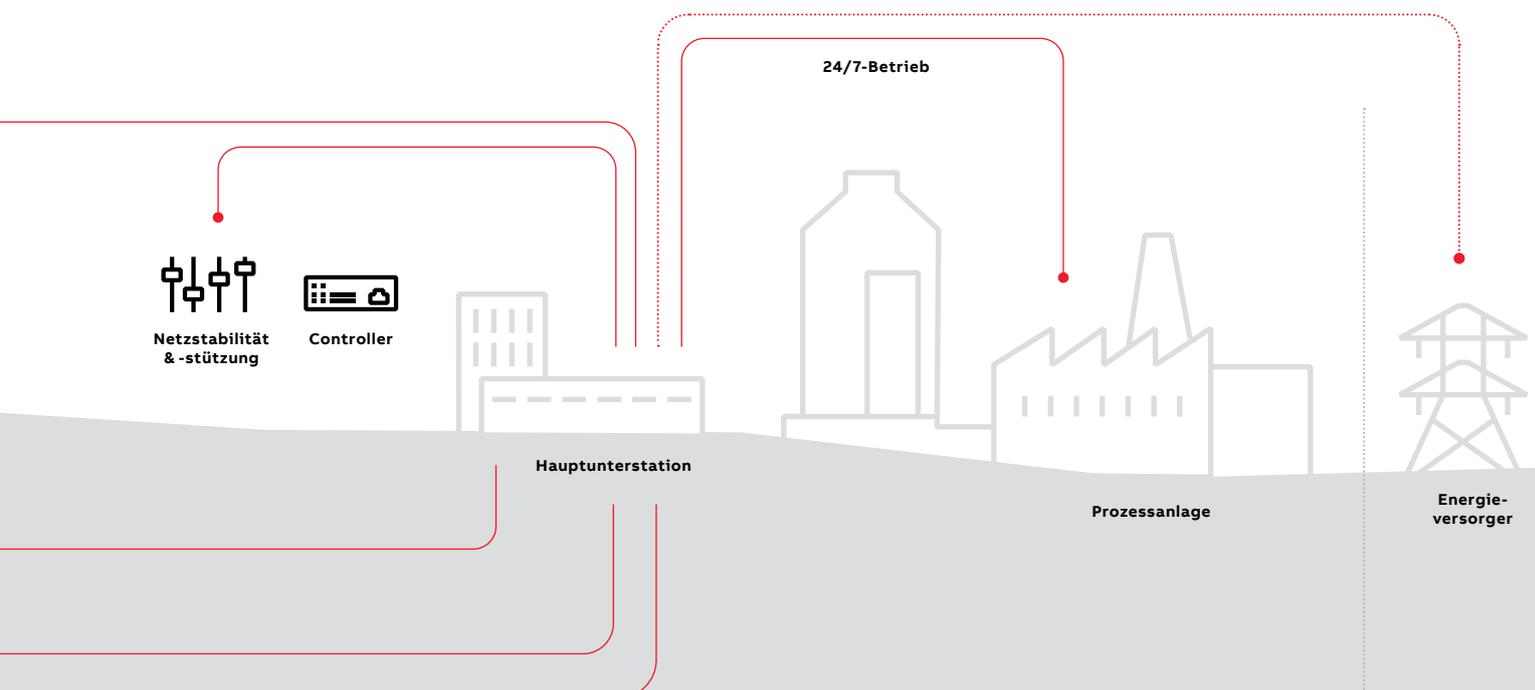


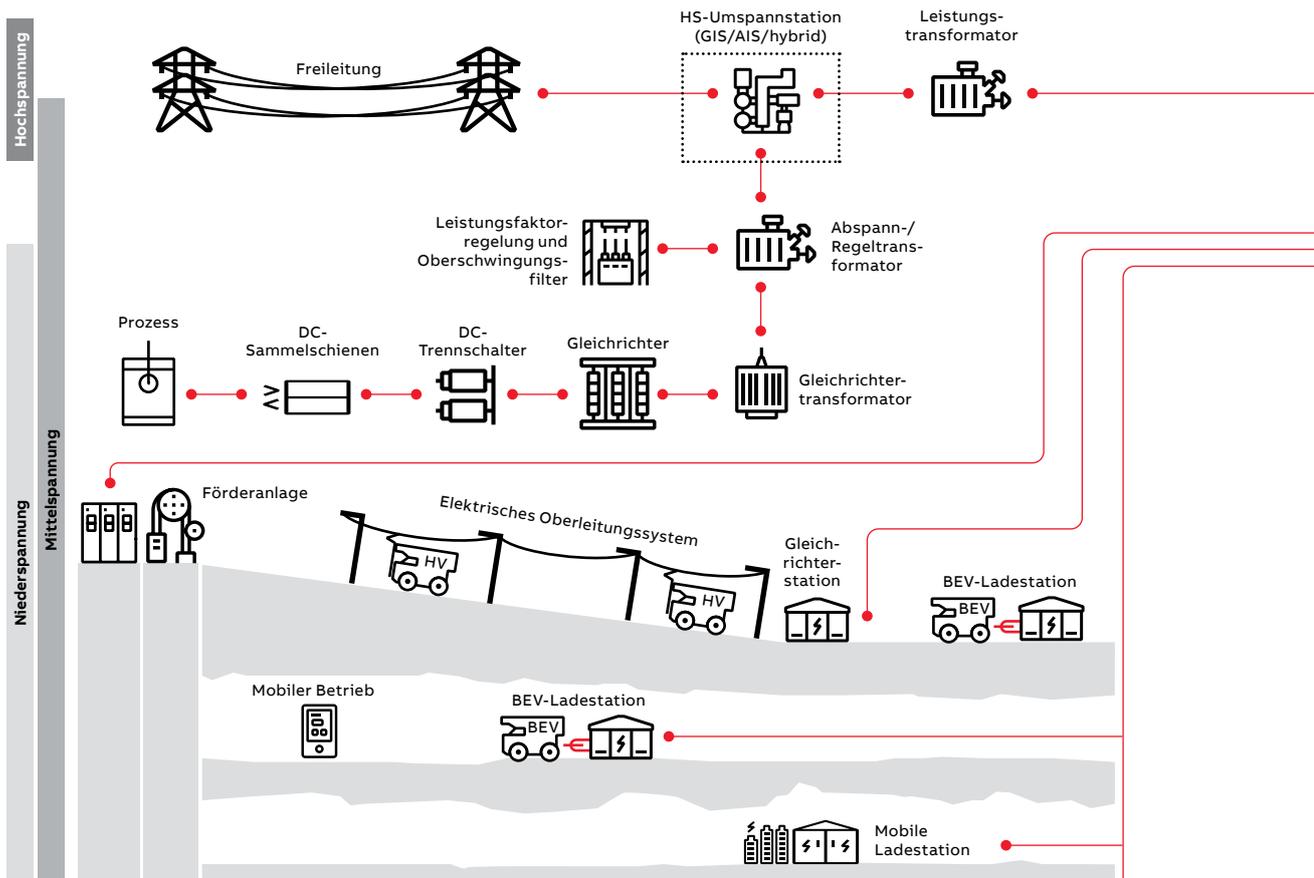
02

von Bergbauanlagen integriert werden. So kann eine nachhaltige und zuverlässige Energieerzeugung und gleichzeitige Minimierung von Störungen des elektrischen Systems sichergestellt werden.

Elektrifizierung ist der Schlüssel

Für eine Dekarbonisierung im Bergbau müssen nicht nur Aspekte wie Konnektivität, Überwachung, Zykluszeiten und Sicherheit in Bergwerken grundlegend überdacht werden. Gleichzeitig ist auch eine enge Zusammenarbeit mit mehreren Partnern und Ausrüstungsherstellern erforderlich, um die notwendige Interoperabilität sicherzustellen →02. Der Schlüssel dazu liegt in der Aufteilung der Herausforderung in einzelne „mundgerechte“ Stücke und in der Bereitschaft zur branchenweiten Zusammenarbeit, um eine umfassende Kompatibilität zu gewährleisten.





03

Eine der wichtigsten Erkenntnisse dabei ist, dass Bergwerke vom Dieselmotorkraftstoff entkoppelt werden müssen. Doch das ist leichter gesagt als getan. Dazu ist die Entwicklung einer „Technologie-Roadmap“ erforderlich, die bei der Planung neuer bzw. modernisierter Bergwerke als Leitfaden für die Integration von neuen Technologien

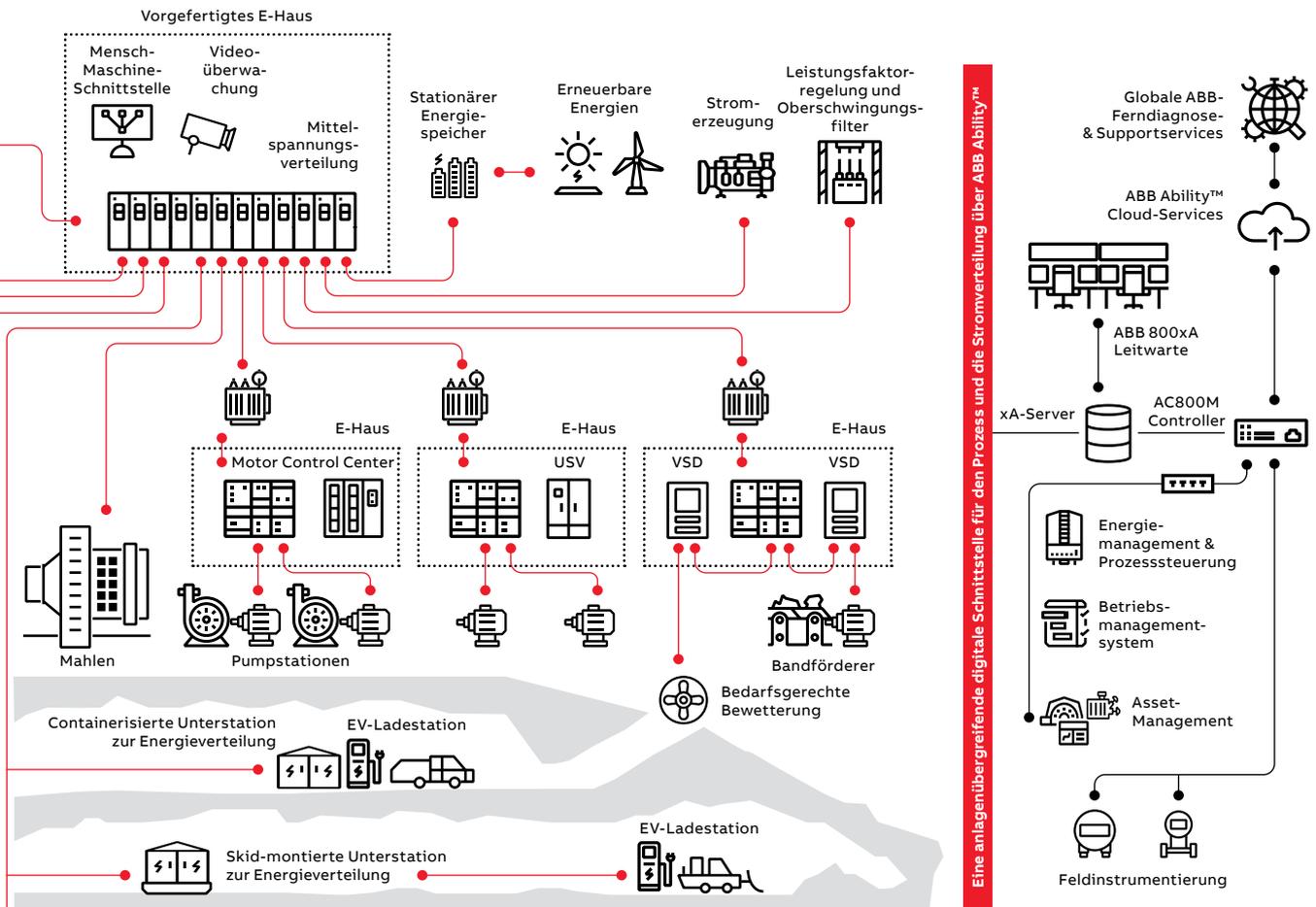
Die Dekarbonisierung erfordert den Umstieg von dieselbetriebener auf elektrische Ausrüstung.

dient, sobald diese die notwendige Reife, Skalierbarkeit und Rentabilität erreichen. Hierbei handelt es sich um einen Prozess auf der Basis wohlgeplanter Schritte in Form von praktischen, kurzfristig umsetzbaren Projekten, die darauf ausgelegt sind, den Bergbaubetrieb zu transformieren.

Mit der Dekarbonisierung von Bergwerken einher geht typischerweise ein Anstieg des elektrischen Energiebedarfs, der in erster Linie auf den Austausch fossil betriebener Ausrüstung durch

elektrische Alternativen zurückzuführen ist. Dazu gehört auch der Umstieg von dieselbetriebener Produktionsausrüstung auf Elektrofahrzeuge, elektrisch betriebene Muldenkipper, Lader, Bohrgeräte und andere Maschinen. Eine solche Ausrüstung erfordert eine entsprechende Ladeinfrastruktur einschließlich strategisch über den Standort verteilter Ladestationen. Die Entwicklung einer umfangreichen Ladeinfrastruktur wiederum erfordert zusätzliche elektrische Energie, um die sich verändernden Ladeanforderungen elektrischer Flotten zu erfüllen.

Ein weiterer wichtiger Baustein der Dekarbonisierung ist die Implementierung von Energieeffizienzmaßnahmen, um den Energieeinsatz zu optimieren und Verluste zu minimieren. Dazu gehören zum Beispiel die Modernisierung der Beleuchtungssysteme, die Verbesserung von Isolierungen und die Implementierung fortschrittlicher Regelungssysteme. Obwohl diese Maßnahmen darauf ausgelegt sind, den Gesamtenergieverbrauch zu senken, kann es sein, dass die erzielten Einsparungen durch den erhöhten Energiebedarf der elektrifizierten Ausrüstung aufgehoben werden. Daher ist es wichtig, die Auswirkungen der Dekarbonisierungsbemühungen auf



- USV: unterbrechungsfreie Stromversorgung
- VSD: drehzahl geregelter Antrieb
- AIS: luftisolierte Schaltanlage
- GIS: gasisolierte Schaltanlage
- BEV: batterieelektrisches Fahrzeug
- HV: Hybridfahrzeug (Diesel u. elektrisch)

03 Das Technologieportfolio von ABB für den Bergbau erstreckt sich von der Elektrifizierung und Automatisierung bis hin zur Integration erneuerbarer Energien und zum strategischen Energiemanagement.

den elektrischen Energiebedarf ganzheitlich zu betrachten. Dies wiederum hängt von verschiedenen Faktoren wie der Größe des Bergbaubetriebs, dem Umfang der Elektrifizierung, der Integration erneuerbarer Energien und der Implementierung von Energieeffizienzmaßnahmen ab.

Dem erhöhten Bedarf an elektrischer Energie kann zum Beispiel mit einer Kombination aus regenerativer Energieerzeugung vor Ort, Energiespeichersystemen und Verfahren zum Bezugsmanagement (Demand Management) begegnet werden. Letztendlich führt die Dekarbonisierung in Bergwerken häufig zu einem höheren Bedarf an elektrischer Energie, da diese die Hauptquelle für die elektrifizierte Ausrüstung darstellt. Doch diesem erhöhten Bedarf kann durch die Integration erneuerbarer Energien in Kombination mit Energieeffizienzmaßnahmen und strategischen Energiemanagementverfahren entgegengewirkt werden →03, um einen nachhaltigeren und umweltfreundlicheren Bergbau zu gewährleisten.

Angesichts der genannten Dekarbonisierungstrends und der zunehmenden Notwendigkeit zur Integration erneuerbarer Energien in der Bergbauindustrie gibt es keine Zeit zu verlieren. Daher ist eine kritische und umfassende Prüfung der technischen und wirtschaftlichen Anforderungen der Bergbauindustrie auf der Grundlage vergleichender Simulationsstudien unter Berücksichtigung der besonderen Bedürfnisse verschiedener Bergbaubetriebe erforderlich. Nur so können Lösungen entwickelt werden, die als Orientierung für praktische, individuelle und optimale Projektentscheidungen dienen können. •

Diesen Artikel teilen



SIEM BRINGT CYBERSICHERHEIT
IN DEN OT-BEREICH

Erweiterung des Sicherheitsnetzes

Das Zusammenwachsen von industriellen OT- (Operational Technology) und IT-Netzwerken unter Verwendung immer ausgeklügelterer Systeme, Geräte und Protokolle bietet zahlreiche Vorzüge. Gleichzeitig steigt aber auch die Anfälligkeit solcher Systeme für Cyberangriffe. ABB untersucht Methoden, um die Sicherheit von Kundensystemen weiter zu verbessern.

01

Industrielle Systeme werden immer vernetzter. Diese Konnektivität bietet zwar viele Vorzüge – wie etwa eine höhere Produktivität und Flexibilität – vergrößert aber auch die Angriffsfläche für Cyberkriminelle, indem sie ihnen mehr Möglichkeiten bietet, Fehler und Schwachstellen auszunutzen. Gleichzeitig sorgt die Konvergenz von OT- und IT-Netzwerken für eine wachsende Komplexität industrieller Anlagen, Geräte und Protokolle. Bei unzureichender Sicherung geben diese ausgeklügelten, vernetzten Systeme erstklassige Ziele für Cyberangreifer ab →01. Tatsächlich stieg die Zahl unerlaubter Zugriffe in Branchen mit vernetzten OT-Systemen im Jahr 2021 deutlich an, wobei der Fertigungssektor die meisten Angriffe verzeichnete [1].

Zu den möglichen Folgen von Cybereinbrüchen gehören neben der Preisgabe vertraulicher Informationen längere Produktionsausfälle, finanzielle Verluste sowie der Verlust von Eigentum oder gar von Menschenleben.

Für betroffene Unternehmen kommen außerdem zusätzliche Kosten für Abhilfemaßnahmen und ein geschädigter Ruf hinzu. Außerdem müssen viele Unternehmen bestimmte Cybersicherheitsanforderungen erfüllen, um gesetzlichen Vorschriften oder Normen zu entsprechen, und sind bei Strafe verpflichtet, jegliche Verstöße zu melden.

Um diesen Risiken zu begegnen und die Einhaltung entsprechender Vorgaben zu gewährleisten, sind proaktive Cybersicherheitslösungen erforderlich, die in der Lage sind, Bedrohungen komplexer industrieller Einrichtungen zu überwachen und zu erkennen. Eine bedeutende Methode zur Abwehr von Online-Bedrohungen ist das sogenannte Security Information and Event Management (SIEM).

Was ist SIEM?

Der Begriff SIEM wurde 2005 von Mark Nicolett und Amrit Williams vom Marktforschungsunternehmen Gartner geprägt [2]. SIEM kombiniert zwei Konzepte: Security Information Management (SIM), bei dem es um die Zusammenführung von Sicherheitsinformationen an einem zentralen Ort zur weiteren Analyse geht, und Security Event Management (SEM), das sich mit der Auswertung von Ereignisdaten in Echtzeit befasst.

Der Hauptzweck von SIEM ist die Überwachung und Auswertung von Ereignisdaten aus verschiedenen Quellen wie Anwendungen, Netzwerkkomponenten, Servern oder anderen Einheiten zur Ereignisprotokollierung mit dem Ziel, Muster von potenziell sicherheitsbezogenen Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Die Ergebnisse des Überwachungs- und Auswertungsprozesses können entweder auf Dashboards angezeigt oder

—
Nicolas Coppik
Marco Gärtler
Benedikt Schmidt
Sylvia Maczey
Abdallah Dawoud
Ragnar Schierholz
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

nicolas.coppik@
de.abb.com
marco.gaertler@
de.abb.com
benedikt.schmidt@
de.abb.com
sylvia.maczey@
de.abb.com
abdallah.dawoud@
de.abb.com
ragnar.schierholz@
de.abb.com



—
01 Die Konvergenz von industriellen OT- und IT-Umgebungen sowie ein steigender Konnektivitätsbedarf erfordern eine bestmögliche Cybersicherheit.

direkt an ein SOAR-System (Security Orchestration Automation and Response) übergeben werden, um automatisierte Reaktionen auf eine Bedrohung auszulösen.

SIEM-Tools sammeln Ereignisdaten an einem zentralen Ort und wenden Sicherheitsregeln darauf an. Die Auswertung der Ereignisdaten erfolgt in Echtzeit, d. h. die Regeln werden permanent angewandt, um sowohl einzelne Ereignisse als auch Bündelungen und Zusammenhänge von Ereignissen innerhalb bestimmter Zeitfenster zu erkennen. SIEM-Tools können als Vor-Ort-Lösungen oder als Cloud-Dienste implementiert werden.

SIEM-Regeln sind konfigurierbar, zum Beispiel im Hinblick auf spezifische, für das betreffende Automatisierungssystem gültige Parameter wie Benutzerkonten, individuelle IP-Adressen oder erlaubte externe Domains, mit denen sich das System verbinden darf. Weitere wichtige Parameter zur Kontextualisierung der Regeln sind sicherheitskritische Tags, die ebenfalls für jede Instanz des Steuerungssystems spezifisch sind. SIEM-Tools sind in der Lage, Veränderungen in diesen kritischen Tags zu überwachen.

Jedes kommerzielle SIEM-Produkt besitzt seine eigene Regelspezifikation, was die anbieterüber-

greifende Interoperabilität von Regeln hemmt. Eine Open-Source-Initiative namens SIGMA versucht, diese Hürde durch die Einführung einer generischen Regelspezifikation zu überwinden, und bietet Konvertierungs-Tools zur Umwandlung der allgemeinen Regeln für verschiedene SIEM-Produkte an.

Herausforderungen bei der Umsetzung von SIEM

Die Vorzüge der Digitalisierung veranlassen Unternehmen dazu, ihre OT- und IT-Strategien zu überdenken, denn sie ermöglichen die Anbindung vormals separater Systeme an Unternehmensnetzwerke und Cloud-Dienste. Hier ist SIEM von entscheidender Bedeutung, wenn es darum geht, die notwendige Sicherheit durch Erkennung böser Aktivitäten zu gewährleisten. Allerdings findet eine Umsetzung von SIEM in OT-Umgebungen zurzeit eher selten statt, denn eine der Herausforderungen bei der Implementierung besteht darin, dass die in der klassischen IT-Welt gewonnenen Erkenntnisse im OT-Bereich häufig nicht gelten. Hinzu kommt, dass jedes OT-Netzwerk individuell ist und einzigartige Betriebszustände kennt, die nicht als Angriffe gedeutet werden sollten. Dieses Dilemma erfordert einen Kompromiss zwischen der Allgemeingültigkeit der SIEM-Regelsätze, die eine gute Wartbarkeit gewährleistet, und der für die praktische Umsetzung notwendigen Individualisierung.



02

Erschwerend hinzu kommt, dass OT-Umgebungen auch eingebettete Geräte (Embedded Devices) mit beschränkten Ressourcen umfassen, die über keine Überwachungsfunktionen verfügen.

Ein weiteres Hindernis bei der Anwendung von SIEM-Technologie im OT-Bereich ist die potenziell hohe Rate von falschen Alarmen. Diese ergeben sich aus der Tatsache, dass es in OT-Systemen zu häufigen Veränderungen der Produktionsparameter und zu regelmäßigen Bedienereingriffen kommt. Auch wartungs- und sicherheitsbezogene Bedienereingriffe können Ähnlichkeiten mit Angriffen aufweisen. Dies macht generelle Überwachungsregeln, die gute und böse Aktivitäten voneinander unterschieden, noch komplizierter. Die Beurteilung dieser Situationen ist zeitauf-

wändig und erfordert Kenntnisse der Anlage sowie Wissen über Sicherheit.

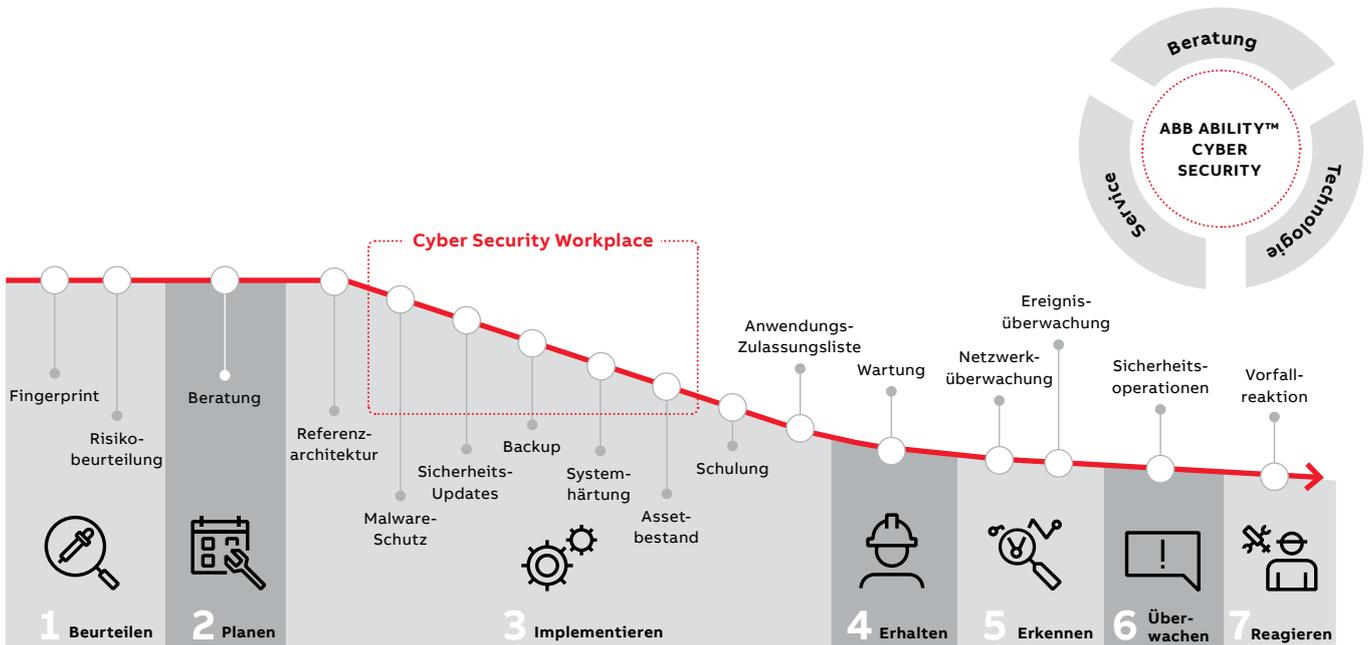
Weitere Treiber für den Einsatz von SIEM

Die Forderung nach mehr Cybersicherheit in industriellen Kontexten hat in den vergangenen Jahren zugenommen und nimmt noch weiter zu. Neben den bereits genannten Auswirkungen von Cybersicherheitsverletzungen gibt es noch einen weiteren bedeutenden Faktor, der diese Nachfrage vorantreibt: neue Normen und Gesetze. Dazu gehören:

- Das Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSIG). In seiner aktuellen Fassung verlangt es ab Mai 2023 den Einsatz von Systemen zur Angriffserkennung, die kontinuierlich und automatisch geeignete Parameter und Merkmale aus dem laufenden Betrieb erfassen und aufzeichnen.
- Die Normen der Reihe IEC 62443 „Industrielle Kommunikationsnetze - IT-Sicherheit für Netze und Systeme“. Diese verlangen von Unternehmen die Fähigkeit, fehlgeschlagene und erfolgreiche Cybersicherheitsangriffe bzw. -verletzungen zu erkennen, sowie die Möglichkeit, Vorfälle zu identifizieren und darauf zu reagieren. Ebenso gefordert ist ein zentral verwalteter, systemweiter Audit-Trail, der einem Analyseinstrument, zum Beispiel einem SIEM-Tool, bereitgestellt werden muss.
- Die Normen ISO 27001:2013 und ISO 27019:2017. Diese enthalten Vorgaben zur Protokollierung und Beurteilung von Ereignissen sowie zum Umfang der Reaktionsfähigkeit auf Vorfälle bzw. Angriffe.

Der Cybersicherheitsansatz von ABB

Fürsorge (Care) und Zusammenarbeit (Collaboration) gehören zu den Kernwerten von ABB.



03

—
02 Die vier Säulen des Cybersicherheitsansatzes von ABB.

—
03 ABB-Roadmap zur Risikominderung.

Dementsprechend hilft ABB Kunden nicht nur dabei, sichere und geschützte Betriebsabläufe zu implementieren und zu erhalten, sondern unterstützt sie auch bei der Umsetzung von Best Practices und der Einhaltung von Vorschriften. Zudem arbeitet ABB mit etablierten Anbietern von SIEM-Tools zusammen, um in der Lage zu sein, auf marktakzeptierten Lösungen aufzubauen und solche bereitzustellen.

Cybersicherheit bei ABB basiert auf vier miteinander verbundenen Säulen: Cybersicherheitslösungen, dazugehörigen Services, Cybersicherheitsberatung und Know-how – d. h. der einzigartigen Expertise von ABB als Marktführer im Bereich Automatisierungstechnik, die das ganze untermauert →02. Die Umsetzung von Cybersicherheit beim Kunden erfolgt in sechs Schritten:

- Beurteilung der Cybersicherheitssituation
- Planung der erforderlichen Maßnahmen, Tools und Services
- Implementierung von Tools und Services einschließlich Maßnahmen wie Systemhärtung, Implementierung einer Sicherheitsarchitektur und Sicherheitsschulungen
- Wartung – zum Beispiel durch Software-Patches oder -Updates. Hier kann der ABB Ability™ Cyber Security Workplace dafür sorgen, dass Patches gegen bekannte Schwachstellen installiert werden, sobald diese zur Verfügung stehen. Dabei wird der Nutzer über den Fortschritt des Updates informiert und erfährt, welche Systeme aktualisiert werden müssen [3].
- Fortlaufende Überwachung, Erkennung und Behandlung von Bedrohungen

→03 zeigt die ABB-Roadmap zur Risikominderung. Bei diesem Prozess nutzt ABB besonders ihr Wissen über Steuerungssysteme und deren deterministische Eigenschaft. Mithilfe der Informationen aus dem Steuerungssystem ist ABB in der Lage, die Cybersicherheit auf die besonderen Bedürfnisse bestimmter Industrieanlagen zuzuschneiden.

Laufende Forschungsarbeit

Das derzeitige Angebot an Cybersicherheitslösungen ist umfangreich und basiert auf bewährten Verfahren. Dennoch gibt es auf diesem Gebiet noch offene Fragen und Probleme, die es zu lösen gilt. Zwei solche Aspekte werden bei ABB zurzeit aktiv untersucht.

Zum einen ist dies die Kontext- und Ereignisannotation. Wie bereits beschrieben, kann der Zustand der OT-Umgebung zum Beispiel aufgrund von Anpassungen an Produktionspläne, Eingriffen des Bedienpersonals zur Rückkehr in den stationären Zustand oder Wartungshandlungen sehr „bunt“ ausfallen. Fälle ohne diesen Kontext zu beurteilen, kann schwierig und zeit-

aufwändig sein. Das Hinzufügen von Annotationen zu Ereignissen zu deren Kontextualisierung kann die Handhabung vereinfachen und die Automatisierung einschließlich der Anpassung von SIEM-Regeln erleichtern.

Der zweite Aspekt ist die Tatsache, dass Geräte in konvergierenden OT/IT-Netzwerken – bis hinunter zu den kleinsten Sensoren – immer komplexer und leistungsfähiger werden. Zukünftig wird es wichtig werden, diese Geräte auf sicherheitsrelevante Informationen hin zu überwachen und wie alle anderen Assets in ein SIEM-Tool zu integrieren.

Dies bringt mehrere Herausforderungen mit sich, da die Geräte für gewöhnlich nicht nur eingebettet und stark ressourcenbegrenzt sind, sondern wie viele vorhandene Geräte nicht darauf ausgelegt sind, Überwachungsfunktionen zu unterstützen. ABB ist dabei, Möglichkeiten zu untersuchen, um diese Art von Geräten in SIEM-Strukturen zu

ABB unterstützt Kunden bei der Umsetzung von Best Practices und der Einhaltung von Vorschriften.

integrieren. Ein möglicher Ansatz besteht darin, sogenannte Monitoring-Agents direkt auf dem Gerät einzusetzen und die von ihnen erfassten Informationen, wenn möglich unter Verwendung von Standardprotokollen, an ein SIEM-Tool zu übermitteln, um die Interoperabilität mit der vorhandenen Sicherheitsinfrastruktur zu gewährleisten. Für ältere Geräte und heterogene Umgebungen untersucht ABB Möglichkeiten, um sicherheitsrelevante Informationen von außen zu überwachen und zu extrahieren, sodass keine Veränderung der Geräte oder der von ihnen verwendeten Software oder Protokolle erforderlich ist.

Diese Verbesserungen können dazu beitragen, erheblich mehr sicherheitsrelevante Informationen aus industriellen Anlagen zu gewinnen und diese basierend auf dem betrieblichen Kontext zu annotieren – und letztendlich ABB-Kunden dabei zu helfen, angesichts von Bedrohungen die richtigen Cybersicherheitsentscheidungen zu treffen. •

Literaturhinweise

[1] IBM: „X-Force Threat Intelligence Index 2022“. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/downloads/cas/ADLMYLAZ> (abgerufen am 14.03.2023).

[2] A. Williams, M. Nicolett: „Improve IT security with vulnerability management“. Gartner Research, ID G00127481 (2005). Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/documents/480703> (abgerufen am 14.03.2023).

[3] K. van Overveld, M. Virostek: „Sicherer Cyberspace – ABB Ability™ Cyber Security Workplace“. ABB Review, 02/2023, S. 112–117.

Diesen Artikel teilen



Angewandte KI





ABB nutzt KI als Kernkomponente in verschiedenen Anwendungen, zum Beispiel um die Effizienz und Sicherheit von Energienetzen zu gewährleisten, die Preise für das Laden von E-Fahrzeugen zu optimieren und zustandspezifische Unterstützung für chemische Prozesse zu bieten. Eine solche Integration von KI wird in Zukunft wahrscheinlich gang und gäbe sein. Die folgenden Artikel zeigen, wie dies schon heute erfolgreich umgesetzt wird.

- 280 **Intelligente Verteilung**
Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung
- 290 **Flexibler Ladepreis**
Dynamische Preisfindung für das Laden von E-Fahrzeugen mithilfe von Reinforcement Learning
- 296 **In der richtigen Spur**
Zustandsspezifische Assistenz für kontinuierliche Prozesse



ANWENDUNG VON IOT-TECHNOLOGIEN AUF DIE VERTEILNETZAUTOMATISIERUNG

Intelligente Verteilung

Das EDGEPRO-Framework von ABB ermöglicht Edge-Computing-Geräten im Stromnetz die Bereitstellung verteilter Intelligenz und eine schnelle Reaktion bei zeitkritischen Netzproblemen. Das für heutige Anwendungen und eine zukünftige hierarchische Verteilung ausgelegte Framework bietet modernste Schutz-, Automatisierungs- und Steuerungstechnologien für ein sich wandelndes Netz.

Titelbild: © Andreas Moglgestue



James Stoupis
 Rostan Rodrigues
 Mohammad Razeghi-Jahromi
 Amanuel Melese
 Joemoan Xavier

ABB Corporate Research,
 Electrification,
 Raleigh, NC, USA

james.stoupis@us.abb.com
 rostan.rodrigues@us.abb.com
 mohammad.razeghi-jahromi@us.abb.com
 ammanuel.melese@us.abb.com
 joemoan.i.xavier@us.abb.com

Die zunehmende Verbreitung von IoT-basierten (Internet of Things) Technologien hat zu erheblichen Verbesserungen im Bereich der digitalen Hard- und Softwaretechnologien geführt. Das Ergebnis sind mehr Rechen- und Speicherkapazität zu vergleichsweise niedrigen Kosten, eine kompakte Hardware und die Kompatibilität mit einer größeren Auswahl an Betriebssystemen. Zudem haben entsprechende Kommunikationsprotokolle für eine steigende Anzahl von Einplatinenrechnern in vielen Verbraucher- und Industrieanwendun-

Mit zunehmender Integration dezentraler Energieressourcen wird das Verteilnetz immer komplexer.

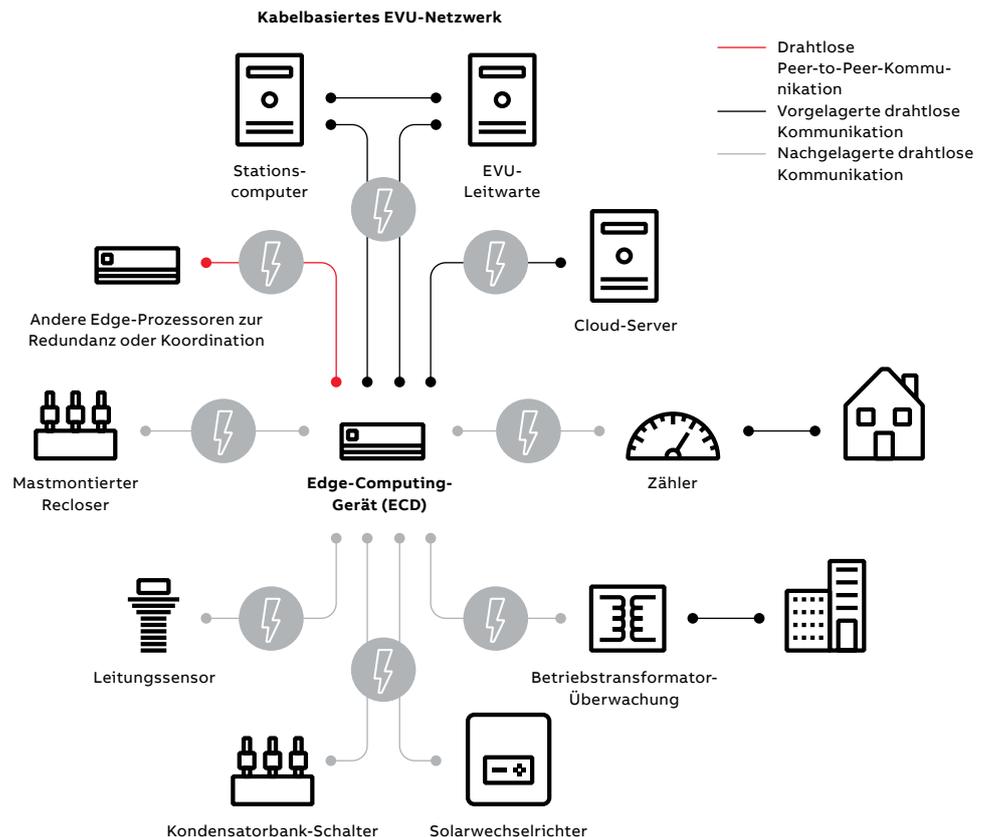
gen gesorgt. Solche bedeutenden Innovationen könnten sich auch positiv auf den Energiesektor auswirken. So würde die Anwendung einer modernen Edge-Computing-Infrastruktur auf das elektrische Verteilnetz die Bereitstellung verteilter Intelligenz und eine schnelle Reaktion bei zeitkritischen Netzproblemen, zum Beispiel zur Fehlererkennung, -eingrenzung und -behebung ermöglichen [1]. Mit zunehmender Integration dezentraler Energieressourcen (DERs)

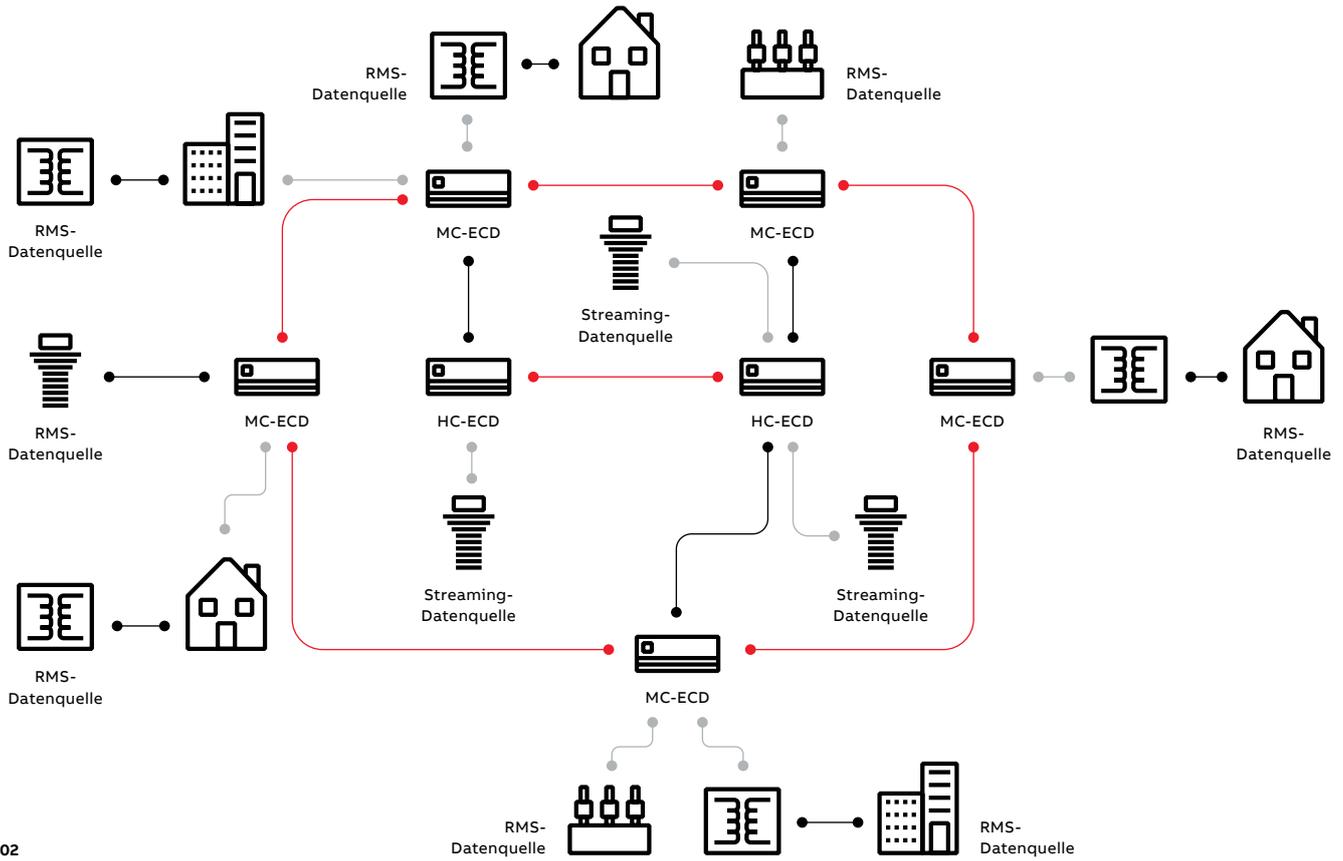
wird das Verteilnetz immer komplexer. Potenziell destabilisierende Ereignisse wie temporäre oder permanente Fehler [2], der Verlust von Messdaten und Cyberangriffe sind bekannte Folgen [1]. Um diesen Problemen zu begegnen, hat ABB eine experimentelle Validierung zum Einsatz von Edge Computing in der Verteilnetzautomatisierung im kleinen Maßstab durchgeführt. Das daraus resultierende Framework EDGEPRO (Economical, Data Fusion-based Grid Edge Processor) kann zur Klassifizierung verschiedener Fehler, Erkennung von Anomalien im Netz, Wiederherstellung von Messdaten und für andere erweiterte Analyseverfahren genutzt werden. Dabei ist EDGEPRO für heutige Verteilungsanwendungen und für eine zukünftige hierarchische Verteilung ausgelegt.

Software-Framework für EDGEPRO

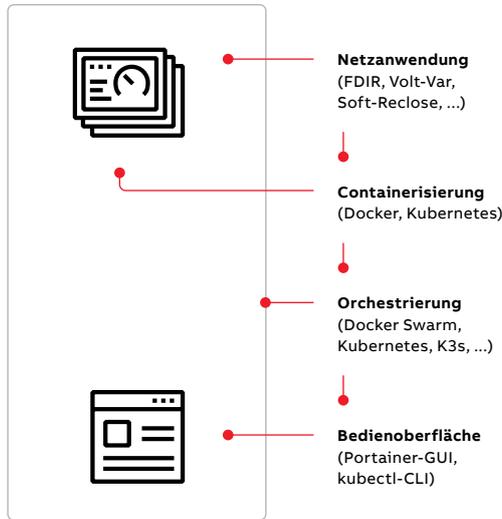
Da bei der Integration einer Smart-Grid-Plattform mehrere Datenquellen von unterschiedlichen Geräten eine Rolle spielen, benötigte ABB eine skalierbare und sicherere Plattform für Edge-Computing-Anwendungen, um verschiedene Möglichkeiten der Industrialisierung und Kommerzialisierung abzudecken. Das EDGEPRO-Framework gewährleistet dies durch die Unterstützung von Windows- und Linux-Betriebssystemen. Eine solche Flexibilität ist entscheidend, da Kommunikationsbibliotheken, zum Beispiel für die industrielle Kommunikation,

01 Schematische Darstellung der Verbindungen zwischen Edge-Computing-Geräten.





02



03

Webserver, Schutzfunktionen und proprietäre Steuerungssoftware, in der Regel in Windows gehostet werden, während sich neue sichere VPN-Technologien, Bibliotheken für drahtlose Mesh-Netzwerke und ML-Anwendungen (Machine Learning) am leichtesten in Linux evaluieren und implementieren lassen.

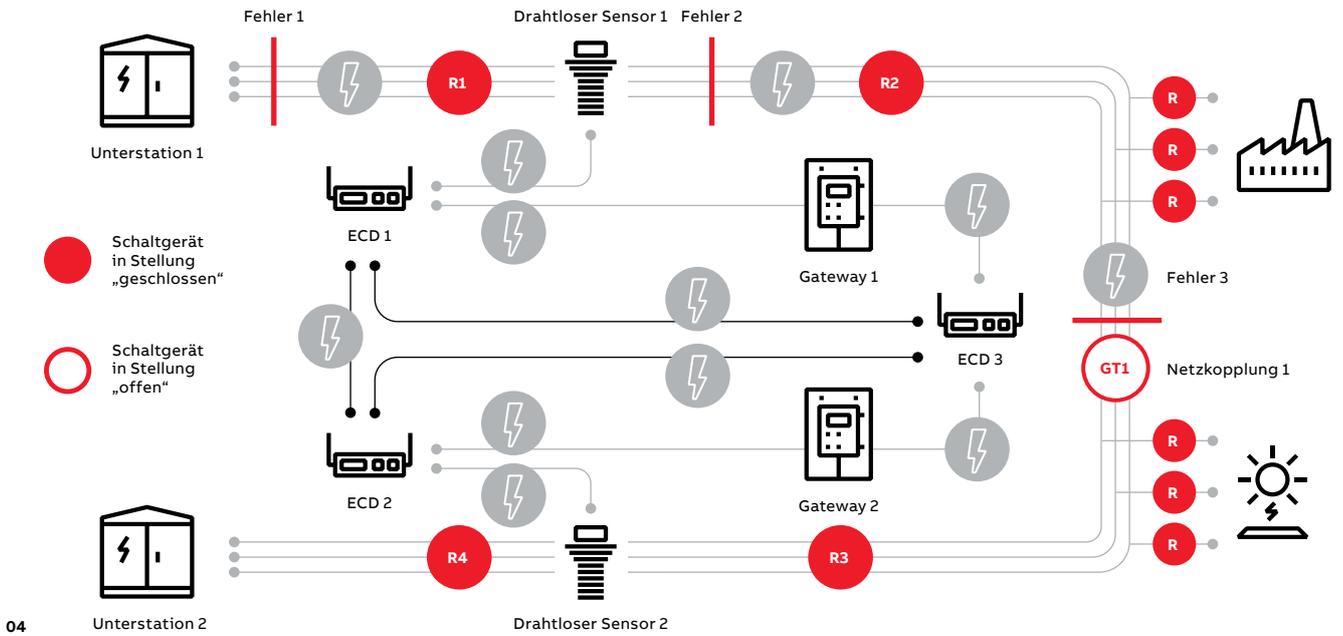
Wie funktioniert ein EDGEPRO-Gerät →01 bzw. -Gerätenetzwerk →02? Da es die Implemen-

tierung einer mehrschichtigen hierarchischen Architektur mit verschiedenen (hoch-, mittel- und niederpreisigen) Edge-Computing-Geräten (ECDs) ermöglicht, besitzt das Netzwerk ein EDGEPRO-Hauptgerät mit Managementfähigkeiten, das Anwendungen an die einzelnen Geräte verteilt. Ein auf dem übergeordneten EDGEPRO-Gerät oder in der Cloud gehostetes

—
ABB hat eine Validierung von Edge Computing in der Verteilnetzautomatisierung durchgeführt.

Container-Repository stellt Image-Repositorys für die Anwendungen auf den Edge-Computing-Geräten bereit. Die Repositorys können verschiedene getaggte Versionen von Container-Images enthalten, die von den untergeordneten EDGEPRO-Geräten mithilfe geräte- oder konfigurationspezifischer Tags abgerufen werden können.

Steuerungsfunktionen werden über den Managementbus implementiert. Das Container-Image nutzt sichere Protokolle und einen Broker, der über Message-Queueing-Protokolle nach dem Publish-Subscribe-Prinzip (MQTT, AMQP usw.) kommuniziert. Jede Anwendung unterstützt den Empfang von Befehlsnachrichten zum Starten



04 Unterstation 2

02 Darstellung der Edge-Computing-Architektur von ABB für Stromverteilungsanwendungen. MC-ECD ist ein mittelpreisiges, HC-ECD ein hochpreisiges Edge-Computing-Gerät.

03 Vereinfachter Prozess zur Erstellung einer containerisierten Netzanwendung auf der Edge-Computing-Plattform. ABB nutzte K3s für die Orchestrierung, je nach Ressourcenverfügbarkeit können auch andere Tools wie Kubernetes (K8s) und Docker Swarm verwendet werden.

04 FDIR-Beispielschema zur Validierung der Edge-Prozessor-basierenden Container-Orchestrierung. Das Schema umfasst zwei Unterstationen mit einem typischen Kreis mit fünf Reclosern und mehreren Lasten, Spannungs- und Stromsensoren, vier Recloser-Controllern, einem Netzkuppelschalter, drei ECDs und zwei Gateway-Geräten. Aus Redundanz- und Backupgründen kommunizieren die Gateway-Geräte mit mehreren ECDs.

05 Beispielergebnisse der Demonstrationen zur Validierung der EDGEPRO-Plattform. Das GUI-Panel des Supervisor-EDGEPRO-Geräts zeigt die von mehreren drahtlosen Sensoren im Netzwerk gemessenen Wellenformen.

und Stoppen von Anwendungsprozessen, zum Empfang von deskriptiven Konfigurationsdateien, die die Gruppierung mit anderen Geräten koordinieren, und Zonenkonfigurationen. Diese Schnittstelle steuert die Verteilung von Updates an implementierte Anwendungen, die Synchronisierung von Datenbanken auf den einzelnen Geräten für verteilte Anwendungen und jegliche Updates für Sicherheits- oder PKI-Technologien (Public Key Infrastructure). Die untergeordneten EDGEPRO-Geräte fragen regelmäßig nach Updates für Geräte- und Zonenkonfigurationsdateien, die zum Beispiel über eine JavaScript Object Notation (JSON) ausgetauscht werden. Damit ist EDGEPRO in der Lage, die notwendigen Steuerungsfunktionen auszuführen.

Erstellung von containerisierten Netzanwendungen

Zur Erstellung von Netzanwendungen wurden die Containerisierung und Workflow-Orchestrierung – bekannte Verfahren im Cloud-Computing – für die Edge angepasst. Dazu entwickelte ABB ein vereinfachtes Verfahren zur Umwandlung von Standalone-Netzanwendungen in Container – die die Anwendungen in kleinere Einheiten isolieren – und zur Bereitstellung, Verwaltung, Löschung und Aktualisierung dieser Container über mehrere EDGEPRO-Geräte hinweg →03. Für die Containerisierung der Anwendung wählte man Docker Engine aufgrund der Kompatibilität mit Windows und Linux und der einfachen Implementierung. Für die Container-Orchestrierung wurde K3s, das



05

einfachste und am wenigsten ressourcenintensive der in Betracht gezogenen Plattformtools, verwendet →03.

Aufbau des experimentellen Prototyps

Zur Validierung des EDGEPRO-Frameworks entwickelte ABB ein Anwendungsschema zur Fehlererkennung, -eingrenzung und -behebung (Fault Detection, Isolation and Recovery, FDIR) →04, bei dem die ECDs mit intelligenten elektronischen Schutz- und Steuergeräten (IEDs) und Sensoren sowie anderen Edge-Computing-Geräten innerhalb der Hierarchie kommunizieren.

Simulationen wurden mithilfe von Node-RED durchgeführt, einem JavaScript-basierten Webserver-Tool, das die Erstellung von logischen Knoten und Kommunikationsknoten ermöglicht,

EDGEPRO kann unter anderem zur Klassifizierung verschiedener Fehler und Erkennung von Anomalien genutzt werden.

die verschiedene Komponenten des FDIR-Schemas repräsentieren. Dies ermöglicht die Durchführung interaktiver Simulationen im ECD3 bzw. dem Supervisor-EDGEPRO-Gerät, wobei jeder logische Zustand den Zustand des elektrischen Systems widerspiegelt.

Bei der finalen FDIR-Demonstration erfolgte die Container-Orchestrierung mit drei Gateway-Geräten vom Typ HPE EL10, die einen K3s-Cluster bildeten. Das Master- und Agent-Tool wurde auf den entsprechenden ECDs installiert, um die Orchestrierung von Containern über alle ECDs hinweg zu ermöglichen. Eine YAML-Datei definierte dabei die Containerkonfiguration für jedes ECD. Das FDIR-Containerimage wurde auf einer x86-Plattform entwickelt und in das öffentliche DockerHub-Repository geladen. Nach Bereitstellung der YAML-Datei startete die Node-RED-Anwendung automatisch in allen ECDs, wobei je nach Identifizierung ein bestimmter Teil des Images ausgeführt wurde.

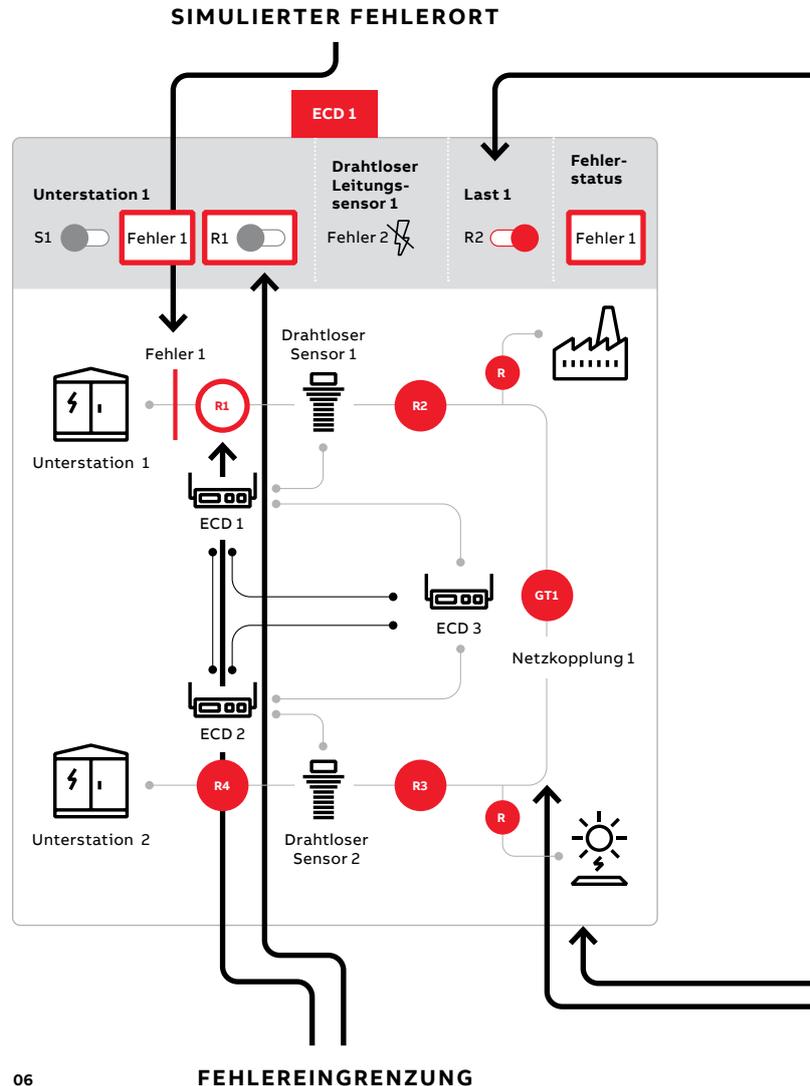
Das Hardwaresystem umfasste Recloser-Controller (vom Typ ABB RER620) und Emulatoren, vereinfachte Software-Schalter in Node-RED für andere Relaisgeräte, handelsübliche drahtlose Sensoren und eine TI DSP-basierte Sensordatenerfassung sowie drahtlose Module. Die Übertragung der Daten und Befehle zwischen den ECDs erfolgte per MQTT und die Kommunikation mit IED RER620 per Modbus TCP. Dabei ist anzumer-

ken, dass auch andere Protokolle wie DNP3 und IEC 61850 unterstützt werden.

Validierung der EDGEPRO-Plattform

Zur Validierung der EDGEPRO-Plattform wurden mehrere Demonstrationen erstellt →05. Zunächst wurden drahtlose Sensoren mit der tatsächlichen elektrischen Last verbunden und das Supervisor-EDGEPRO-Gerät (ECD2) so eingestellt, dass es das Relais auslöst, sobald der Strom 0,2A übersteigt. Die Sensoren zur Messung der Lastspannung und des Laststroms leiteten die Daten an das entsprechende EDGEPRO-Gerät weiter, das dann das Relais auslöste und den Recloser öffnete, als der Strom den Schwellenwert überstieg. Nach Klärung des Fehlers kehrte das System wieder in den Normalbetrieb zurück →05.

In einer weiteren Demonstration wurde ein vereinfachtes FDIR-Schema für die Stromverteilung implementiert. In diesem Fall wurde die Containerisierung der FDIR-Netzanwendung mithilfe der GUI-Panels der EDCs validiert →06. Die containe-



06 Die grafischen Anzeigen aller drei Edge-Computing-Geräte (ECD1, ECD2 und ECD3) zeigen Systemparameter/ Informationen auf vereinfachte Weise nahezu in Echtzeit basierend auf der in →04 dargestellten Lösung.

risierte Anwendung wurde mithilfe des Container-Orchestrierungstools K3s in ein privates Repository im Internet geladen und bereitgestellt, um die Erfüllung der Performance-Anforderungen sicherzustellen. Fehlerstatus-Indikatoren, Systemzustand, Parameter und Wellenformen wurden auf den GIU-Panels aller Edge-Geräte angezeigt →06. Das System war erfolgreich in der Lage, Fehler an verschiedenen Orten über GUI-Schaltflächen zu simulieren und nach Klärung des Fehlers den normalen Betrieb wiederherzustellen (dabei wurde die Last an fehlerhaften Stromkreisen vor Fehlereintritt verwendet, um die Last vor der Wiederherstellung zu überprüfen).

Zielgerichtete Entwicklung

Aufgrund der Heterogenität und der Herkunft der Daten aus mehreren Quellen wandte ABB auf der Edge-Processor-Plattform das Verfahren der Datenfusion an [3]. Dabei wurden zwei Hauptziele verfolgt: „Reparieren problematischer Daten“ bei Problemen mit der Qualität der Datenquelle wie Inkonsistenz, Fehlerhaftigkeit usw. und „Extraktion übergeordneter Informationen“, um Wissen

aus mehreren Datenquellen zu generieren. Dazu hat ABB zwei Hauptanwendungen im Edge-Processor-Framework entwickelt: Ereignisklassifizierung und Datenwiederherstellung.

Ereignisklassifizierung

Um die Unterscheidung zwischen permanenten Ereignissen (d. h. Kabel-/Leiterfehler, Tierkontakte und Betriebsmittelausfälle) und temporären Fehlerereignissen (Probleme mit dem Vegetationsmanagement, Blitzschläge und Schaltüberspannungen) zu unterstützen, war eine Klassifizierung der möglichen Ereignisse im Verteilnetz erforderlich. Hierzu entwickelte ABB entsprechende Methoden auf der Basis von maschinellen Lernverfahren (ML) und Domänenwissen.

Für die ML-basierte Fehlerklassifizierung wurden Netzdaten der von PingThings und der University of California in Berkeley geführten NI4AI-Initiative (National Infrastructure for Artificial Intelligence) herangezogen [4,5]. Die Initiative stellt eine entsprechende Infrastruktur einschließlich Daten, Analyseplattform und Nutzercommunity

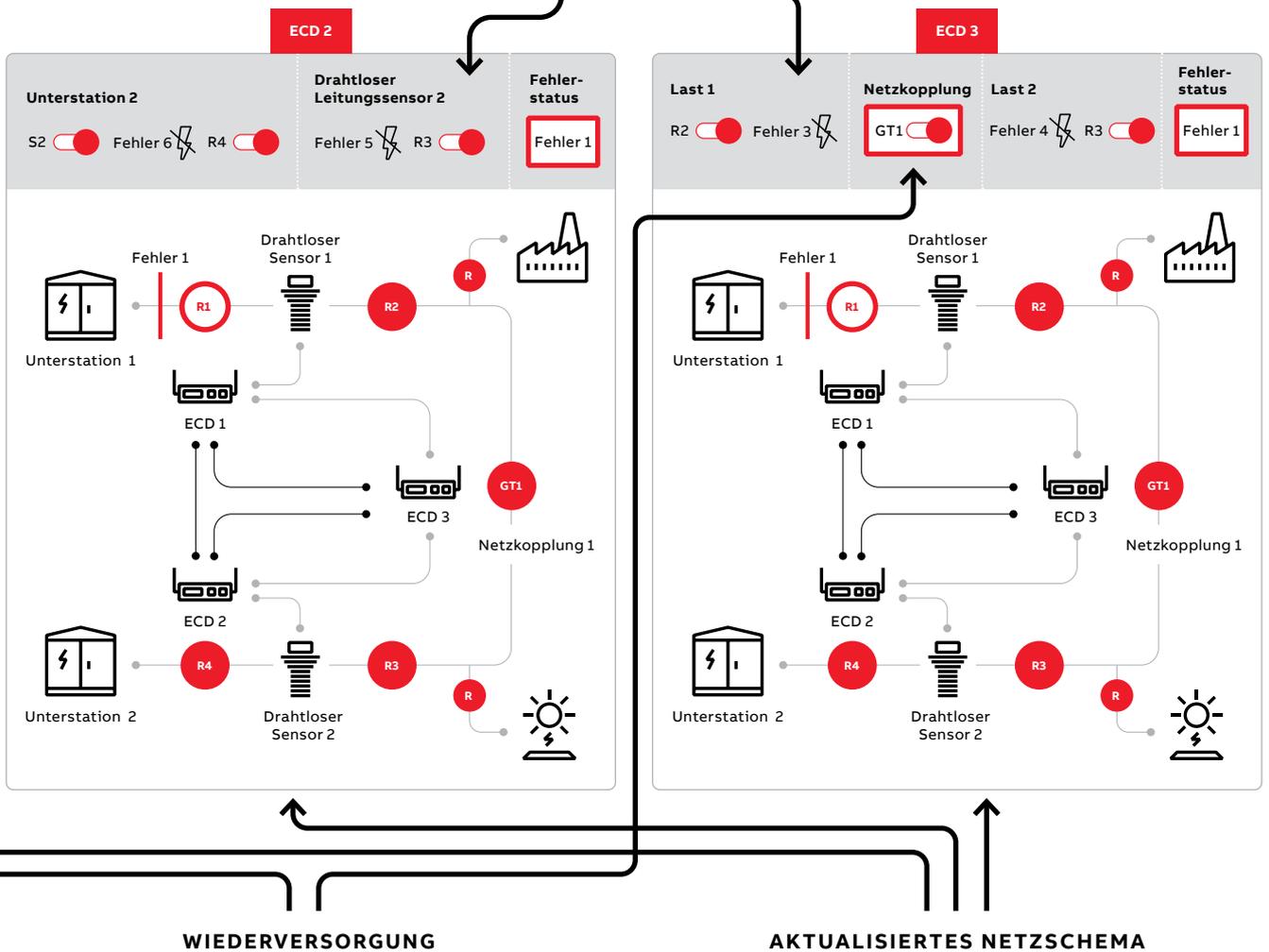


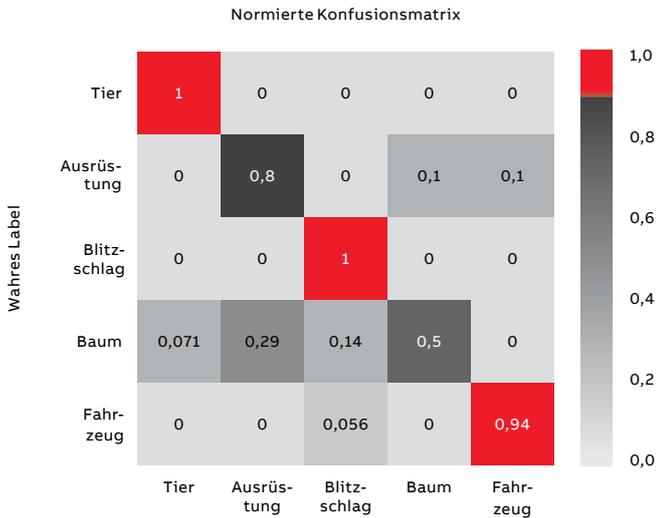
Schaltgerät in Stellung „geschlossen“



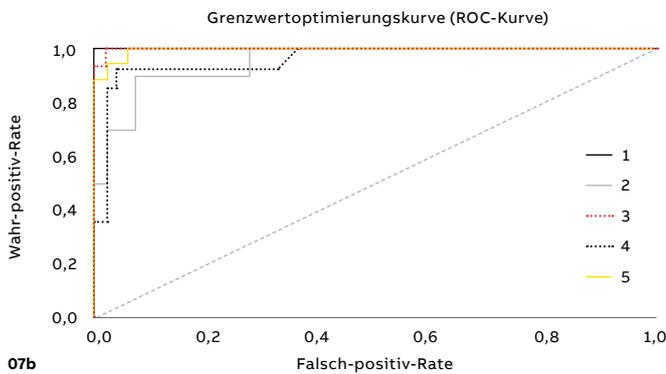
Schaltgerät in Stellung „offen“

STEUERUNG UND ÜBERWACHUNG





07a Vorhergesagtes Label



07b

zur Verfügung, um die Nutzung von künstlicher Intelligenz im Netz zu katalysieren.

Für die Ereignisklassifizierung wurden 155 Datensätze einer von fünf Kategorien zugeordnet: Tier (15 Datensätze), Blitzschlag (24 Datensätze), Fahrzeug (18 Datensätze), Baum (43 Datensätze) und Ausrüstung (55 Datensätze) mit unterschiedlichen Datenpunkten (von 50 bis 30.000) und Abtast-raten (von 50 bis 1.000 μ s). Zu den möglichen Attributen gehörten Zeit, Spannung V_a, V_b, V_c und Strom I_a, I_b, I_c, I_n . Die drei Phasenströme I_a, I_b und I_c einzelner Fälle wurden verkettet, um mithilfe des Python-Pakets „tsfresh“ Merkmale zu extrahieren. Tsfresh berechnet automatisch eine große Anzahl von Zeitreihenmerkmalen (in diesem Fall 773).

Um einer Klassen-Imbalance – eine bekannte Herausforderung bei der Anwendung von ML-Verfahren auf Klassifizierungs-Datensätze – entgegenzuwirken, nutzte ABB das SMOTE-Verfahren (Synthetic Minority Oversampling Technique). Dies ergab 55 Instanzen für jede Klasse. Vom Datensatz wurden 75 Prozent der Daten für das Training verwendet und 25 Prozent für Test- bzw. Validierungszwecke reserviert. Da der am besten geeignete Algorithmus zur Lösung des ML-Problems anfangs nicht bekannt war, wurden zehn

vielversprechende Klassifizierungsalgorithmen anhand von Stichproben untersucht:

- Zwei lineare Algorithmen: LR (Logistic Regression) und LDA (Linear Discriminant Analysis)
- Vier nichtlineare Algorithmen: KNN (k-Nearest Neighbors), NB (Naive Bayes), CART (Classification and Regression Trees) und SVM (Support Vector Machines)
- Vier Ensemble-Algorithmen: RF (Random Forest), ET (Extra Trees), AB (AdaBoost) und GBM (Stochastic Gradient Boosting)

Nach Einschätzung der Fähigkeiten dieser ML-Modelle anhand der Klassifizierungsmetrik, einer 10-fachen Kreuzvalidierung, und der Genauigkeit wählte ABB den Ensemble-Algorithmus ET für die Klassifizierung, da dieser die anderen Modelle nach der Datenstandardisierung leistungsmäßig übertraf. Anschließend wurde ein Rastersuchalgorithmus zum Tuning des Algorithmus durch Hyperparameteroptimierung verwendet, um die optimale Anzahl von „Bäumen“ zu bestimmen (beste Ergebnisse mit n Schätzern = 300). Die Ergebnisse der Ereignisklassifizierung mithilfe des getunten ET-Algorithmus und standardisierten Daten \rightarrow 07 demonstrieren den Erfolg der Anwendungen.

Datenwiederherstellung für die Zustandsschätzung

Da sich das Stromnetz unter der zunehmenden Integration von DERs zusehends zu einem intelligenten elektrischen Netz wandelt, spielen die Überwachung und Steuerung des Systems in Echtzeit eine entscheidende Rolle. Synchrophasor-Messungen mithilfe von zeitsynchronisierten Zeigermessgeräten, sogenannten PMUs (Phasor Measurement Units), können dabei helfen, den Zustand des Systems zu bestimmen und diese Herausforderung zu bewältigen [6].

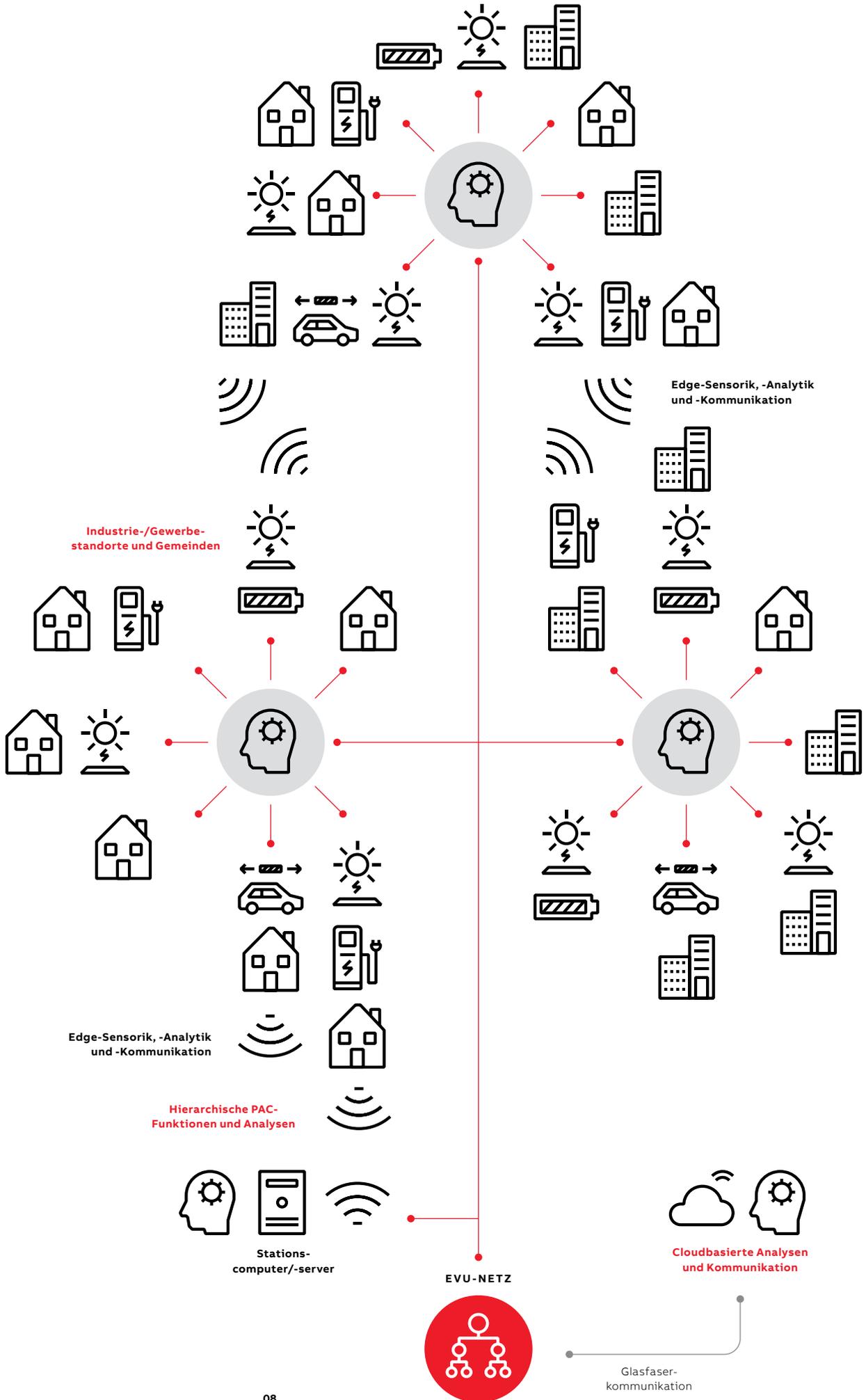
Der erste Schritt bestand darin, die fehlenden Daten zu rekonstruieren. Die Daten wurden zu synchronisierten Zeitpunkten erfasst und mit Messungen nahegelegener PMUs auf der Grundlage der Netztopologie korreliert. Die PMU-Daten wiesen trotz der hohen Dimensionalität der Rohdaten eine niedrigdimensionale Struktur auf. Die daraus resultierende Matrix enthält niedrig-rangige Messungen von nahegelegenen PMUs. Da ABB festgestellt hat, dass sich die Rekonstruktion fehlender PMU-Daten als ein Niedrigrangmatrix-Vervollständigungsproblem formulieren lässt, wurden Methoden zu Matrixvervollständigung wie Nuclear-, Hankel- und Total Variation Norm Minimization herangezogen und auf der Grundlage von konvexen Optimierungsverfahren entwickelt, um sowohl zufällig als auch temporär fehlende Daten für die Zustandsschätzung zu rekonstruieren [7]. So hat ABB gezeigt, dass EDGEPRO erfolgreich zur Datenwiederherstellung

07 Ergebnisse der Ereignisklassifizierung.

07a Normalisierte Konfusionsmatrix (Support: 69; Accuracy: 87 Prozent).

07b Darstellung der Grenzwertoptimierungskurve (ROC) und der Fläche unter der Kurve (AUC). AUC für Klasse 1: 1,0, AUC für Klasse 2: 0,956, AUC für Klasse 3: 0,999, AUC für Klasse 4: 0,964, AUC für Klasse 5: 0,996.

08 Vorgeschlagene Edge-Computing-Architektur für übergeordnete Stromverteilungsanwendungen unter Verwendung erweiterter Analysen.



VIRTUALISIERTER ZENTRALISIER- TER SCHUTZ UND STEUERUNG

Virtualisierter zentralisierter Schutz und Steuerung ist eine neue Technologie, die die Edge-Computing- und fortschrittliche Kommunikationsinfrastruktur zur Bereitstellung einer erweiterten hierarchischen Netzintelligenz nutzt. Eine virtuelle Plattform ermöglicht die Implementierung der PAC-Funktionen auf einem Server (d. h. in Software) in der Unterstation. Ein Vorteil ist die Flexibilität zur Bereitstellung erweiterter PAC-Anwendungen, Analysen und Cyber-sicherheitsverfahren zusätzlich zu den vorhandenen virtualisierten PAC-Funktionen. Durch die Implementierung von PAC-Funktionen auf einem Server anstatt auf einem Stationscomputer lassen sich anspruchsvollere ML-basierte Anwendungen implementieren. In Verbindung mit 5G- und IEC 61850-Kommunikation ist eine Echtzeit-Datenerfassung auf Feldebene möglich. Das Ergebnis ist ein umfassender Überblick über das System in Echtzeit und erweiterte, das Verteilnetz umfassende PAC-Funktionen.

09

—
09 Erweiterte hierarchische Netzintelligenz mit virtualisiertem Schutz und Steuerung.

—
10 ABB EDGEPRO ermöglicht die Bereitstellung verteilter Intelligenz, um die Verteilungsautomatisierung und das Netzmanagement in einem sich wandelnden Netz zu unterstützen.

Danksagung
Die hier präsentierten Informationen, Daten und Arbeiten wurden zum Teil von der Advanced Research Projects Agency-Energy (ARPA-E) des U.S. Department of Energy finanziert. Die darin enthaltenen Ansichten und Meinungen entsprechen nicht notwendigerweise denen der Regierung der Vereinigten Staaten oder einer ihrer Behörden.

und Zustandsschätzung in der Verteilnetzautomatisierung eingesetzt werden kann.

Die Zukunft ist hierarchisch

Auch wenn der Schwerpunkt des hier vorgestellten Edge-Computing-Konzepts auf einer verteilten Intelligenz liegt, werden Netzschutz, -automatisierung und -steuerung in Zukunft voraussichtlich einem hierarchischen Intelligenzkonzept folgen. Das EDGEPRO-Framework von ABB ist darauf ausgelegt, sowohl heutige Anforderungen als auch diese hierarchische Zukunft zu unterstützen.

Edge-Computing-Geräte im Netz werden verteilte Intelligenz bereitstellen und eine schnelle Reaktion auf zeitkritische Netzprobleme ermöglichen (z. B. Fehlererkennung, -eingrenzung und -behebung), indem sie relevante Daten an entsprechende Geräte auf Stationsebene (z. B. Stationscomputer, Highend-ECDs) kommunizieren und eine weitere Ebene für Schutz-, Automatisierungs- und Steuerungsfunktionen (Protection, Automation and Control, PAC) bereitstellen. Darüber hinaus bieten solche Geräte die Möglichkeit, die EDC-basierten Steuerungsentscheidungen einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen. Zudem kann durch Anbindung an

die Cloud und IoT-Systeme auf der Basis von Endnutzeranwendungen ein umfassendes Bild der Auswirkungen von Netzereignissen gewonnen werden. Diese Kommunikationsebene ermöglicht eine Verbindung vom Versorgungsunternehmen und anderen zu Verbrauchern und Industrie- und Gewerbestandorten.

Erweiterte Analysen (Advanced Analytics) sind eine weitere Anwendung, die auf allen Ebenen des ABB-Frameworks eingesetzt werden kann, um mehr hierarchische Intelligenz bereitzustellen →08. Am Netzwerkrand können einfache und etwas anspruchsvollere Anwendungen wie Fehlererkennung, -eingrenzung und -behebung implementiert werden. Die Art des ECD – hoch- oder niedrigpreisig – bestimmt dabei das Niveau der implementierbaren Anwendung →08.

Auf der Stations- und Cloudebene, wo mehr Rechenleistung und Kapazitäten zur Verfügung stehen, sind anspruchsvollere Anwendungen möglich. So sind ML-basierte Anwendungen zum Beispiel auf allen Ebenen implementierbar. Die

—
Das Konzept von ABB ermöglicht eine schnellere Reaktion auf Netzereignisse als andere Lösungen.

Komplexität der Verfahren und die Datenmodelle bestimmen die Hardwareplattform für die Implementierung. Während eine einfachere ML-Methode auf niedrigpreisigen EDCs implementiert werden könnte, wäre für eine komplexere Methode wie Deep oder Reinforcement Learning ein Stationscomputer oder die Cloud erforderlich.

Eine solche flexible Deployment-Architektur stellt die Grundlage für ein hierarchisches Netzintelligenz-Framework dar und ermöglicht ein dynamisches Schutz-, Steuerungs- und Automatisierungssystem, das in der Lage ist, viele neue Subsysteme im Netz (z. B. DERs und Energiespeicher) einzubinden.

Weitere zukünftige Anwendungen

Mit der von ABB vorgeschlagenen Architektur →08 sind weitere Anwendungen möglich, angefangen von standortspezifischen Anwendungen (z. B. Ereignisanalyse und -erkennung) bis hin zu umfassenderen Anwendungen auf Systemebene (z. B. Überwachung und Steuerung von DERs). Gleichzeitig entwickeln sich vorhandene Technologien wie Datenfusion, ML/KI und Echtzeitkommunikation über 5G weiter

und ermöglichen einen Paradigmenwechsel im Hinblick auf PAC-Funktionen in der Stromverteilung. Durch Datenfusion können verschiedene Datenquellen und -arten zusammengeführt und verarbeitet werden, während ML-Verfahren überwachte, unüberwachte und bestärkende Lernmethoden nutzen, um traditionelle und neue Schutz-, Automatisierungs- und Steuerungsaufgaben zu bewältigen. Die Nutzung von 5G und anderen fortschrittlichen Echtzeit-Kommunikationssystemen ermöglicht die Realisierung von Anwendungen, die vor 20 Jahren nur auf dem Papier möglich waren →09.

Das zukunftsgerichtete, aber in der Gegenwart verankerte Konzept von ABB ermöglicht eine schnellere Reaktion auf Netzereignisse als zen-

tralisierte oder stationsbasierte Lösungen. Die Koordination mit SCADA-Systemen, Verteilungsmagementsystemen und Stationscomputern ist ebenfalls möglich. Eine neue Technologie dieser Art kann erhebliche Vorteile für das Verteilnetz, die Verteilungsautomatisierung, das Management des Gesamtnetzes, erweiterte Analysen, die Überwachung und Steuerung von DERs und das Asset-Management bieten. Die Verschmelzung von Edge-Computing-Technologie, allgegenwärtigen Kommunikationsmedien, Protokollen und erweiterten Analysen liefert die Grundlage für leistungsstarke Plattformen für verteilte Intelligenz, die die nächste Generation von Verteilungsautomatisierungs- und Netzmanagementprodukten unterstützen →10. •



10

Literaturhinweise

[1] R. Rodrigues et al.: „Applying edge computing to distribution automation“. *2023 IEEE PES Grid Edge Technologies Conference & Exposition*, April 2023. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10102738> (abgerufen am 03.07.2023).

[2] P. Perani: „Nachhaltiges Netz“. *ABB Review* 03/2023, S. 172–179.

[3] Y. Zhang et al.: „Information fusion for edge intelligence: A survey“. *Information Fusion*, Vol. 81, 2022, S. 171–186. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1566253521002438>

(abgerufen am 03.07.2023).

[4] PingThings Website. Verfügbar unter: <https://ni4ai.org/info> (abgerufen am 03.07.2023).

[5] DOE/EPRI National Database Repository of Power System Events. Verfügbar unter: https://pqmon.epri.com/see_all.html (abgerufen am 03.07.2023).

[6] P. Joshi, H. Verma: „Synchrophasor measurement applications and optimal PMU placement: A review“. *Electric Power Systems Research*, Vol. 199, 2021. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779621004090> (abgerufen am 03.07.2023).

[7] A. Primadianto, C. Lu: „A review on distribution system state estimation“. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 32, No. 5, 2016, S. 3875–3883.

[7] A. Primadianto, C. Lu: „A review on distribution system state estimation“. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 32, No. 5, 2016, S. 3875–3883.

Diesen Artikel teilen





DYNAMISCHE PREISFINDUNG FÜR DAS LADEN VON E-FAHRZEUGEN MIT HILFE VON REINFORCEMENT LEARNING

Flexibler Ladepreis

Durch die Elektrifizierung des Verkehrssektors und die zunehmende Anbindung unsteter Energiequellen an das Stromnetz ergibt sich ein Ungleichgewicht zwischen Last und Erzeugung, das es auszugleichen gilt. Dazu hat ABB ein auf Reinforcement Learning (RL) basierendes dynamisches Preismodell für das Laden von Elektrofahrzeugen (EV) entwickelt, das flexibel genug ist, um sich verändernde Netzbedingungen zu berücksichtigen.

Das Stromnetz der Zukunft muss in der Lage sein, sowohl steigende Lasten, die aus der Elektrifizierung des Verkehrssektors resultieren, als auch eine schwankende Erzeugung durch dezentrale Energiequellen zu bewältigen. Für einen Ausgleich von Last und Erzeugung ist eine Kombination aus standortspezifischen Lösungen erforderlich, die in der Lage sind, den Zustand des Netzes zu berücksichtigen. Angesichts dieser zentralen Herausforderung schlägt ABB einen marktwirtschaftlichen Ansatz vor, bei dem der Ladepreis für E-Fahrzeuge an die Bedingungen im Stromnetz angepasst wird, um so die Ladeentscheidungen von EV-Nutzern zu beeinflussen. Die daraus resultierende Lösung senkt die Kosten für die Stromlieferung an den Endkunden und hilft Versorgungsunternehmen dabei, die Stabilität des Netzes zu gewährleisten.

sich durch das Hinzufügen von Energiespeichern zum Netz und/oder die Verstärkung des Netzes bewältigen. Doch dies ist mit erheblichen Investitionskosten verbunden. Auch wenn solche infrastrukturasierten Verbesserungen zu begrüßen sind und bereits begonnen haben [1], ist das Ausmaß des Problems potenziell besorgniserregend.

Im September 2022 wurden die Einwohner von zwölf kalifornischen Countys aufgefordert, ihren Stromverbrauch zu reduzieren, um rollierende Blackouts (d. h. den gezielten Lastabwurf bei drohender Überlastung des Stromnetzes) zu verhindern, da der Strombedarf aufgrund einer extremen Hitzewelle deutlich höher ausfiel als normal [2]. Solche Szenarien unterstreichen die Notwendigkeit zur Umsetzung kombinierter Maßnahmen.

Ein naheliegender Aspekt ist die Betrachtung des zukünftigen Ladebedarfs von E-Fahrzeugen, der aufgrund der steigenden Nachfrage seitens der Kunden rapide ansteigt. Um zur Deckung dieses Bedarfs beizutragen, hat ABB im Jahr 2021 mit der Terra 360 die schnellste EV-Ladestation der Welt auf den Markt gebracht. Bei einer maximalen Ausgangsleistung von 360 kW kann damit ein Elektroauto in weniger als 15 Minuten aufgeladen und die Reichweite in weniger als drei Minuten um 100 km vergrößert werden [3]. Ist die Möglichkeit zum schnellen Laden erst einmal gegeben, wäre es mehr als ärgerlich, wenn die Ladegeschwindigkeit

Umstieg auf Elektrofahrzeuge

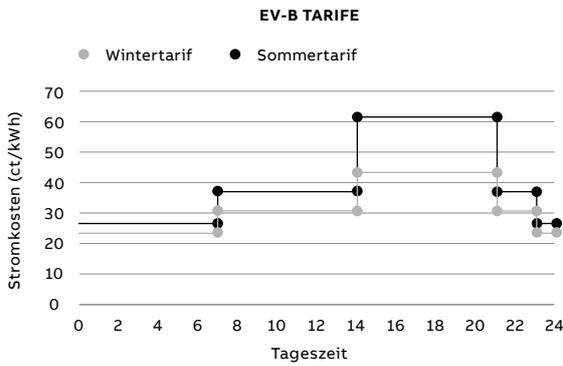
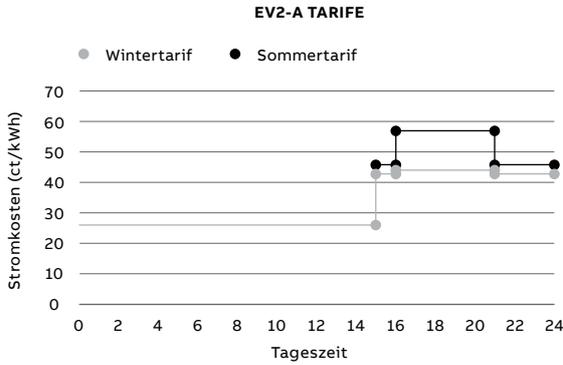
Das Stromnetz erfährt zurzeit einen grundlegenden Wandel. Die Welt hat größtenteils erkannt, dass eine Abkehr von fossilen Energieträgern notwendig ist. Dies gilt besonders für den Verkehrssektor. Die daraus resultierende rasche Zunahme an E-Fahrzeugen wird zu einer erhöhten Nachfrage nach Strom und Energie führen. Zusammen mit der vermehrten Anbindung dezentraler Energiequellen an das Stromnetz wird dies unweigerlich zu einer stärkeren Variabilität in der Stromerzeugung führen. Der damit verbundene Balanceakt zwischen Erzeugung und Last ließe

—
Harish Suryanarayana
Aniket Joshi
James Stoupis
ABB Research Center
Raleigh, NC, USA

harish.suryanarayana@
us.abb.com
aniket.m.joshi@
us.abb.com
james.stoupis@
us.abb.com

Parashar Parikh
ABB, e-Mobility
Raleigh, NC, USA

parashar.parikh@
us.abb.com



01

keit künstlich gedrosselt werden müsste, um die Stabilität des Netzes und die Sicherheit der Stromversorgung zu gewährleisten.

Als weltweit führendes Unternehmen im Bereich EV-Ladeinfrastrukturen bietet ABB nicht nur umfassende Lade- und Elektrifizierungslösungen für E-Fahrzeuge aller Art, sondern arbeitet auch mit Partnern in der Energieversorgung und der akademischen Welt zusammen, um technische

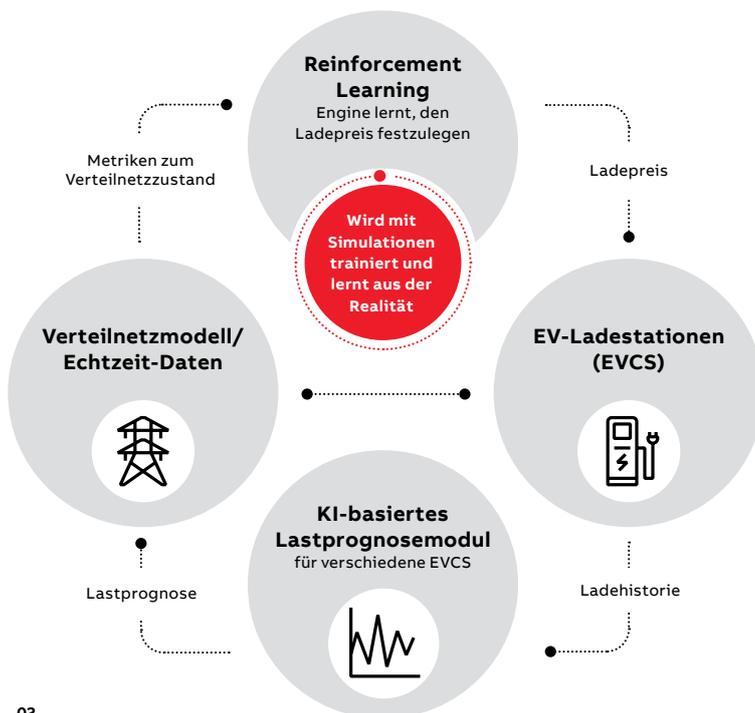
Lösungen für die Herausforderungen der Zukunft zu entwickeln. Die Electrification Mosaic Platform for Grid-Informed Smart Charging Management (eMosaic) ist ein solches Projekt, das im Jahr 2020 mit dem Ziel ins Leben gerufen wurde, eine kombinierte Übersicht über mehrere Ladestandorte, -ebenen und -arten zu schaffen, die vom Energieversorger bereitgestellte Informationen nutzt, um ein intelligentes Lademanagement zu ermöglichen.

Zeitabhängige Tarife

Ein traditioneller marktwirtschaftlicher Ansatz, um die Diskrepanz zwischen Last und Erzeugung insbesondere in Regionen mit starker Sonnenenergiegewinnung auszugleichen, ist die Verwendung von zeitabhängigen Tarifen. Stromversorger wie PG&E in Kalifornien sehen bereits zeitabhängige Tarife für das Laden von E-Fahrzeugen in ihrer Tarifstruktur vor [4] →01, bei denen der vom Endverbraucher bezahlte Preis die zeitlich variierenden Kosten der Stromerzeugung besser widerspiegelt. Dabei haben zeitabhängige Tarife einen täglichen und einen saisonalen Aspekt, d. h. bei Tag und bei Nacht sowie im Sommer und im Winter können unterschiedliche Preise festgelegt werden, um verschiedenen Faktoren – zum Beispiel Schwankungen bei der Solarstromerzeugung – Rechnung zu tragen. Darüber hinaus gibt es verschiedene Tarife, je nach dem, ob der Strom für das gesamte Haus ohne separate Verbrauchsmessung für das Laden von E-Fahrzeugen (EV2-A Tarife) oder nur für das EV-Laden (EV-B Tarife) genutzt wird. Eine solche Bepreisung soll Kunden einen Anreiz bieten, ihr Fahrzeug zu bestimmten Tageszeiten zu laden. Sie können ihr Auto zwar weiterhin in Spitzenlastzeiten laden, zahlen dann aber mehr als doppelt so viel wie in Schwachlastzeiten. Trotz dieser scheinbar logischen Lösung sind zeitabhängige Tarifstrukturen fix und können somit nicht auf sich verändernde Netzbedingungen wie etwa unerwartete Bedarfsspitzen aufgrund von extremen Temperaturen reagieren. Zwar ist die Gewissheit einer solchen Preisstruktur positiv, doch sich verändernde Netz- oder sogar Witterungsbedingungen können ihre Wirksamkeit mindern.

Dynamische Preisfindung

Ein nächster Entwicklungsschritt wäre die Einführung einer „netzinformierten“ dynamischen Preisfindung, bei der sich der Ladepreis danach richtet, was in der Vergangenheit passiert ist und aktuell im Netz passiert. Dieser Ansatz hat zwar nicht die Gewissheit von zeitabhängigen Tarifen, bietet aber die notwendige Flexibilität, um mit einem marktwirtschaftlichen Ansatz auf sich verändernde Netzbedingungen zu reagieren. Der stetig steigende Bedarf an Strom und Energie, sich rasch verändernde Lasten und der Ausbau dezentraler Energiequellen bedeuten mehr Variabilität für das zukünftige Netz. Die dynamische Preisfindung ist ein weiteres Tool, das beim Ausgleich von Erzeu-



02

Komponenten beim Reinforcement Learning	
Agent	Q-Learning für kleine Probleme, Deep Q-Learning für größere Probleme
Umwelt	Verteilnetz mit mehreren angeschlossenen EV-Ladestandorten, die in der Lage sind, den Ladepreis an EV-Nutzer zu kommunizieren bzw. darauf zu reagieren und das Nutzerverhalten zu erfassen
Aktion	Festlegen eines Preisfaktors zur Anpassung des Grundpreises an jedem EV-Ladestandort mit stündlicher Änderung
Zustand	Relevante Spannungen und Ströme auf Verteilungsebene auf Basis des Per-Unit-Systems (pu)
Belohnung	Einschränkungen der relevanten Spannungen und Ströme; Minimierung der Kosten für die Stromlieferung

03

—
01 Beispiel für zeitabhängige Tarife.

—
02 Übersicht über die Preisbestimmung des RL-Agenten.

—
03 In der ABB-Studie verwendete RL-Komponenten.

gung und Last helfen könnte. Bei diesem Ansatz werden EV-Nutzer in Zeiten, in denen es für das Netz (und wiederum den Eigentümer des Ladestandorts) von Vorteil ist, mit einem niedrigeren Ladepreis belohnt, müssen aber zu Zeiten hoher Nachfrage einen höheren Preis zahlen. Allerdings gibt es viele technische Herausforderungen zu bewältigen, bevor eine solche dynamische Preisfindung realisiert werden kann.

Bestimmen des besten Preises

Die Erfassung der komplexen Wechselwirkung zwischen dem dynamischen Ladepreis, dem Ladeverhalten der EV-Nutzer, der elektrischen Last und der Dynamik des Verteilnetzes stellt eine gewaltige Herausforderung dar. Das Ziel besteht darin, einen Vorteil für das Netz zu erzielen und gleichzeitig die Kosten für die Stromlieferung an den Eigentümer des EV bzw. des Ladestandorts zu reduzieren. Um eine positive Wirkung zu erzielen, muss die Preisfindung nicht nur flexibel sein, sondern auch auf die lokale Dynamik des Ladestandorts zugeschnitten sein. Und hier liegt der Haken: Der rasch zunehmende und sich verändernde Anteil an E-Fahrzeugen (die sogenannte EV-Durchdringung) verkompliziert die Sache. Der Mechanismus zur dynamischen Preisbestimmung muss zweifelsohne automatisiert sein, aber wie? Smart Grids können dabei helfen, die versorgungsseitigen Probleme zu bewältigen, die sich aus der rasant steigenden Zahl von Stromquellen in Form von dachmontierten Solaranlagen und EV-Batterien ergeben, indem sie den Bedarf von Kundengeräten (Klimaanlagen, Wasserkocher, Batterien, EVs) anpassen. Eine dynamische Preisfindung in Echtzeit würde den Druck von der Lastseite nehmen, aber wie ist das möglich? Die Lösung liegt in der Nutzung von künstlicher Intelligenz (KI), genauer gesagt von Verfahren des bestärkenden Lernens (Reinforcement Learning, RL).

Fußnote

³⁾ Go ist ein chinesisches Brettspiel mit über $2,1 \times 10^{170}$ gültigen Positionen auf dem Brett.

RL für die dynamische Preisfindung

Das Prinzip des RL basiert auf der Fähigkeit eines Agenten, in einer bestimmten Umwelt das optimale Verhalten zu erlernen, um eine erhaltene

Belohnung zu maximieren. Nachdem im Jahr 2016 bahnbrechende Ergebnisse erzielt wurden, als mit AlphaGo ein RL-basiertes Computerprogramm den Go³⁾-Weltmeister Lee Sedol besiegte, wurde die Forschung auf dem Gebiet der RL und deren Nutzung in industriellen Anwendungen, zum Beispiel zum Kühlen von Rechenzentren, in der Robotik usw., intensiviert – mit gutem Erfolg [5]. ABB nutzt RL, um die komplizierten Wechselwirkungen zwischen EVs und dem Stromnetz zu erfassen und als nächsten Schritt zum derzeit verwendeten zeitabhängigen Preismodell eine dynamische Festlegung des Ladepreises zu ermöglichen [6].

In diesem Fall kann man sich den RL-Agenten als eine Art Regler vorstellen, der den Netzzustand als Eingabe nutzt und als Ausgabe einen Ladepreis bzw. Ladepreisfaktor generiert. Dieser wird an die Ladestation übermittelt, die die Information wiederum an den EV-Nutzer kommuniziert.

Bei der Konzeption und Entwicklung einer RL-basierten Lösung für ein bestimmtes Problem müssen die RL-Komponenten definiert werden →03. Für das Verteilnetz nutzte ABB ein sogenanntes IEEE 34-Bus-Modell mit mehreren EV-Ladestationen an verschiedenen Knoten.

Im nächsten Schritt wurde der RL-Agent trainiert, um die Preisfestlegung vornehmen zu können. Beim Training lernt der RL-Agent, indem er mit der Umwelt interagiert und verschiedene Aktio-

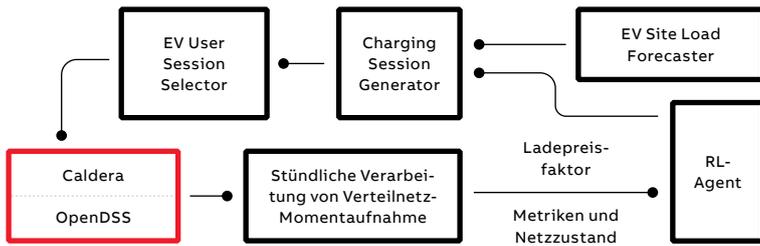
—
Ein nächster Schritt ist die Einführung einer „netzinformierten“ dynamischen Preisfindung.

nen – in diesem Fall verschiedene Preispunkte – ausprobiert und bestimmt, wie sich dies auf die Belohnung (eine Kombination aus Einschränkungen der Netzfunktionen und den Gesamtkosten der Stromlieferung) auswirkt.

Um etwas über seine Umwelt zu lernen, sollte der RL-Agent idealerweise in der realen Welt trainiert werden, wo er wirklichkeitsnahe Rückmeldungen für seine Aktionen erhält. Der Nachteil ist das bekannte Dilemma zwischen Exploration und Exploitation. Um zu lernen, muss der RL-Agent in der Lage sein, die Auswirkung verschiedener Aktionen zu erkunden. Während dieser Zeit kann seine Performance allerdings stark eingeschränkt sein. Außerdem kann es sein, dass die zum Lernen erforderliche Zeit für viele reale Anwendungen unzumutbar ist. Diese Nachteile können mithilfe

Synthetische Umwelt

- Modellierung der EV-Ladesessions
- EV-Ladestandorte
- Modellierung des Verteilnetzes



04

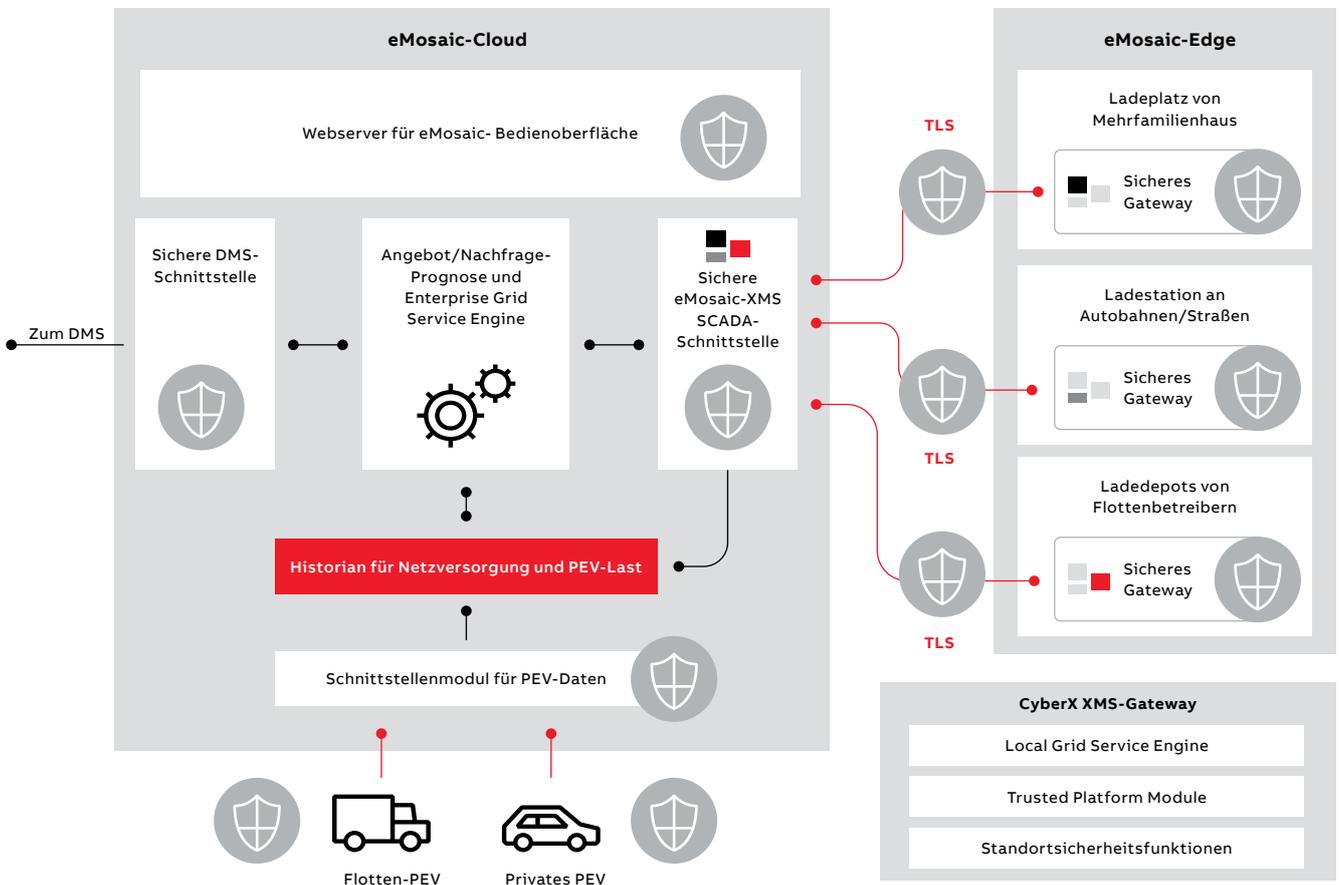
einer synthetischen Umwelt umgangen werden, die ähnlich einem Simulationszwilling die Realität abbildet. Auf diese Weise kann der RL-Agent die Auswirkungen seiner Aktionen in einer Simulation erkunden, bevor er in der Realität implementiert und abgestimmt wird.

Synthetische Umwelt für das Training

Wenn man den RL-Agenten vor der Implementierung eine virtuelle synthetische Umwelt erkunden lässt, kann RL zur Lösung komplexer Probleme genutzt werden. Je näher die simulierte Umwelt der Realität kommt, desto besser arbeitet der

Agent nach seiner Implementierung. ABB hat verschiedene Tools und Routinen entwickelt und genutzt, um unterschiedliche Aspekte des EV-Ladens, der Netzdynamik und des Lastumfelds sowie des Nutzerverhaltens zu simulieren. Die wichtigsten Tools und Routinen sind:

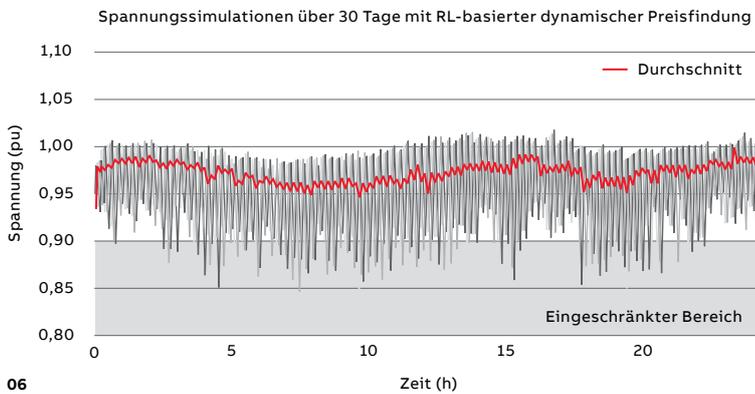
- Caldera, eine vom Idaho National Laboratory entwickelte Infrastruktur-Simulationsplattform, die die EV-Ladesessions und die elektrische Dynamik des Ladestandorts simuliert [7].
- OpenDSS vom Electric Power Research Institute wurde verwendet, um das IEEE 34-Bus-Verteilnetz zu simulieren.
- Weitere inhouse in Python entwickelte Routinen wie der EV Site Load Forecaster, der die Ladelast für einen Ladestandort für den Folgetag vorhersagt und dabei mehrere Zeithorizonte verwendet, um die Nutzungsstruktur und die Dynamik der EV-Durchdringung anhand vergangener EV-Zählerdaten zu erfassen [6]; der EV User Session Selector, der die Nutzerreaktion auf Preissignale modelliert; und der Charging Session Generator, der Ladesessions stochastisch auf der Grundlage einer vorläufigen Prognose des EV-Nutzungsverhaltens generiert.



05

DMS Distribution Management System
PEV Plug-in Electric Vehicle

TLS Transport Layer Security
XMS XFC/Charging Station Management System



04 Darstellung der zum Training des RL-Agenten verwendeten synthetischen Umwelt.

05 Überblick über die eMosaic-Architektur für eine sichere Kommunikation. Die Enterprise Grid Service Engine verarbeitet Daten und generiert Steuersignale zur Bereitstellung von Netzdiensten wie die Prognose von Angebot und Nachfrage auf der Grundlage historischer Daten.

06 Beispiel für Spannungsabweichungen an einem Knoten eines belasteten Verteilnetzbzweigs. Das Diagramm enthält 30 Kurven für 30 Tage. Jede Kurve umfasst 24 Stunden plus eine Stunde. Die rote Kurve entspricht der durchschnittlichen Spannungsabweichung für die 30 Tage.

Bei dem Konzept von ABB interagiert die synthetische Umwelt mit dem RL-Agenten →04, wobei dieser stündlich Metriken zum Netzzustand von der synthetischen Umwelt erhält und den Ladepreis entsprechend anpasst.

Kommunikationsarchitektur

Die dynamische Preisfindung erfordert eine zugrunde liegende Kommunikationsinfrastruktur, die einen einwandfreien Informationsaustausch sicherstellt. ABB hat festgestellt, dass dazu ein Update der Infrastruktur erforderlich ist, was im Rahmen des eMosaic-Projekts umgesetzt wurde. Dazu entwickelte ABB eine sichere Kommunikation zwischen dem Ladestandort, der eMosaic-Cloud und verschiedenen Nutzern →05.

Training und Test der synthetischen Umwelt

Der PL-Agent wurde in der entwickelten synthetischen Umwelt für über 900 Episoden trainiert (wobei jede Episode 24 Stunden Ladezeit entspricht). Das Training dauert auf einem entsprechenden Computer mittlerer Leistung etwa fünf Tage. In der realen Welt würde das Training etwa zweieinhalb Jahre dauern. Zur Generierung der notwendigen Performance-Metriken wurde die stochastische Simulation ausgeführt, um Daten über einen Zeitraum von 30 Tagen zu erfassen. Dabei wurden Spannungen und Ströme aus Verteilnetzsimulationen erfasst →06. Hierbei ist anzumerken, dass das Netz absichtlich

belastet wurde, um die zu erwartende Belastung durch das Laden von E-Fahrzeugen abzubilden. Zum Vergleich der Performance wurde ein Anwendungsfall mit konstantem Preis (Baseline) simuliert, bei dem der Preis für die Energielieferung dem durchschnittlichen dynamischen Preis entspricht. Der Anwendungsfall für die dynamische Preisfindung ergab eine fast 50-prozentige Reduktion der Zeit im Bereich mit eingeschränkter Spannung (weniger als 0,9 pu) – ein äußerst vielversprechendes Ergebnis.

Zukünftige Schritte

Nach der Definition der erforderlichen Algorithmen und Modelle und der Durchführung der Simulationen zum Training und Testen des dynamischen Preismodells besteht der nächste Schritt für ABB darin, diese Preisstrategie zusammen mit Projektpartnern – zu denen ein Energieversorger und eine Universität in den USA gehören – an einem Demonstrationsstandort zu implementieren. So können die Auswirkungen der dynamischen Preisfindung mit realen EV-Nutzern eingehend getestet werden, um sicherzustellen, dass das Konzept bereit ist, EV-Ladekunden und Versorgungsunternehmen gleichermaßen zu dienen. Schließlich kann das Stromnetz mit zunehmender Elektrifizierung des Verkehrssektors nur dann eine sicherere Energieversorgung gewährleisten, wenn es die Bedürfnisse von Energieerzeugern und -verbrauchern in Einklang bringt. •

Danksagung

Der vorliegende Beitrag basiert auf Arbeiten, die vom Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) des U.S. Department of Energy im Rahmen des Advanced Vehicle Technologies Research Program (Award Number DE-EE0009194) unterstützt werden. Die darin enthaltenen Ansichten entsprechen nicht notwendigerweise den Ansichten des U.S. Department of Energy oder der Regierung der Vereinigten Staaten.

Literaturhinweise

[1] P. Perani: „Nachhaltiges Netz“. *ABB Review* 03/2023, S. 172–179.

[2] D. Smith: „California sent a scary text message urging residents to cut their power use and it worked“. *The Sacramento Bee*, 07.09.2022. Verfügbar unter: <https://www.sacbee.com/news/local/article265446471.html> (abgerufen am 17.05.2023).

[3] ABB: „ABB launches the world's fastest electric car charger“. ABB Website. Verfügbar unter: <https://global.abb.com/group/en/calendar/2021/terra-360> (abgerufen am 17.05.2023).

[4] PG&E: „Electric Vehicle (EV) Rate Plans“. PG&E Website. Verfügbar unter: https://www.pge.com/en_US/residential/rate-plans/

rate-plan-options/electric-vehicle-base-plan/electric-vehicle-base-plan.page (abgerufen am 17.05.2023).

[5] J. Luo: „Controlling Commercial Cooling Systems Using Reinforcement Learning“. *arXiv*, November 2022. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/2211.07357> (abgerufen am 17.05.2023).

[6] H. Suryanarayana, A. Brissette: „EV charging site day-ahead load prediction in a synthetic environment for RL based grid-informed charging“. 2023 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo ITEC, Juni 2023, S. 1–5.

[7] Idaho National Laboratory: „Caldera: EV infrastructure simulation platform“. Webseite. Verfügbar unter: <https://cet.inl.gov/caldera/SitePages/Caldera.aspx> (abgerufen am 17.05.2023).

Diesen Artikel teilen



ZUSTANDSPEZIFISCHE ASSISTENZ FÜR KONTINUIERLICHE PROZESSE

In der richtigen Spur

Kontinuierliche Produktionsprozesse können verschiedene Betriebszustände mit unterschiedlichen Eigenschaften aufweisen. Um nützliche Erkenntnisse zu liefern, müssen datenbasierte Lösungen daher in der Lage sein, Zustände und Unterzustände des Systems zu berücksichtigen. ABB bietet eine innovative zustandsspezifische Lösung zur besseren Unterstützung des Anlagenpersonals bei der Prozessführung.

Ruomu Tan
Martin Hollender
Chen Song
Arzam Kotriwala
ABB Corporate Research
Center
Ladenburg, Deutschland

ruomu.tan@de.abb.com
martin.hollender@
de.abb.com
chen.song@de.abb.com
arzam.kotriwala@
de.abb.com

Heiko Petersen
Dominic Haas
ABB Process Automation
Mannheim, Deutschland

heiko.petersen@
de.abb.com
dominic.haas@
de.abb.com

Obwohl in vielen Branchen zunehmend maschinelle Lernverfahren (ML) zum Einsatz kommen, die die Vielzahl an verfügbaren Daten nutzen, um dynamische und komplexe Prozesse zu unterstützen, ist die chemische Prozessindustrie nicht immer in der Lage, diese Daten optimal für ihre kontinuierlichen Prozesse zu nutzen. Und auch wenn mit der Verbreitung von vernetzten IoT-Geräten (Internet of Things) immer mehr historische Zeitreihendaten zu verschiedenen Anlagenbetriebszuständen wie Anfahren,

Die ABB-Lösung ist der Lage, Prozesszustände und Unterzustände genau zu erkennen.

Abfahren, Teillast oder Volllast zur Verfügung stehen, bleibt die Zustandsbestimmung kein leichtes Unterfangen. Dies hat viele Gründe. So können manuelle Eingriffe zu einer Veränderung des Betriebszustands führen. Zudem enthalten große Datenmengen für gewöhnlich Signaturen verschiedener Zustände, was eine Bestimmung erschwert. Außerdem kann ein Betriebszustand mehrere Unterzustände beinhalten, was die Zustandsbestimmung weiter verkompliziert. Dies hat ABB dazu veranlasst, eine Lösung zu entwickeln, die in der Lage ist, Prozesszustände und Unterzustände genau zu erkennen, um Anlagenfahrern eine genauere Beurteilung und Überwachung von Produktionsprozessen zu ermöglichen.

01

Warum den Zustand bestimmen?

Stellen wir uns ein Gaskraftwerk vor, das mit verschiedenen Brennstoffen betrieben wird, deren Zuflussmengen sich auf den Betriebszustand des Kraftwerks auswirken. In die Analyse von Daten eines solchen Prozesses sollten auch Informationen über den Prozesszustand einfließen, denn während ein Verhalten der Daten bei einem Zustand normal ist, kann genau das gleiche Verhalten bei einem anderen Zustand auf einen Fehler hindeuten. Daraus folgt, dass die optimale Betriebsweise für den Prozess je nach Betriebszustand drastisch variieren kann. Informationen über das Auftreten und die Eigenschaften jedes Betriebszustands sind nicht nur wichtig für einen sicheren Betrieb, sondern können auch Experten bei der Beurteilung der Prozessleistung helfen und einen effizienteren und nachhaltigeren Betrieb ermöglichen →01.

Es kommt also darauf an, die richtige und optimale Unterstützung für ein bestimmtes Szenario bereitzustellen. Daher sollten ML-Modelle, die zur Unterstützung von Anlagenfahrern bei solchen





—
01 Da kontinuierliche Prozesse eine tragende Säule der chemischen Industrie bilden, ist die Zustandsbestimmung für die Automatisierung von entscheidender Bedeutung.

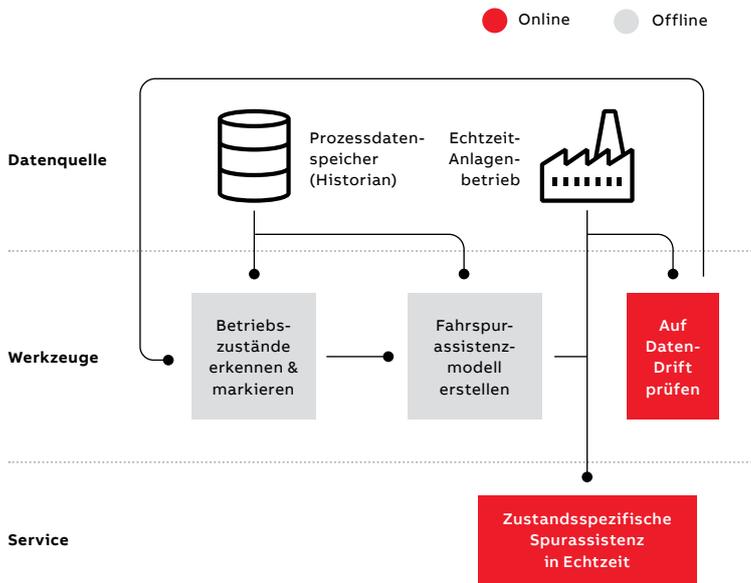
Prozessen ausgelegt sind, sich der jeweiligen Betriebszustände „bewusst“ sein. Dies wiederum bedeutet, dass die Informationen über Betriebszustände in die Datenanalyse und die Erstellung der ML-Modelle einfließen müssen. Eine solche Bestimmung ist aus verschiedenen Gründen anspruchsvoll. Möglicherweise sind die Betriebszustände des Prozesses nicht explizit dokumentiert, oder wenn doch, lässt sich das Format bei der Datenanalyse oder Modellkonfiguration nur schwierig verarbeiten. Außerdem kann es sein, dass die Bestimmung der Ursache für eine Veränderung des Betriebszustands durch die große Zahl von manuellen Eingriffen während des Produktionsprozesses erschwert wird.

—
Informationen über Betriebszustände sollten in die Datenanalyse und Modellerstellung einfließen.

Lösungsarchitektur

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, hat ABB eine innovative Architektur unter Verwendung von ML-basierten Verfahren entwickelt →02. Die datenbasierte Lösung nutzt Signaturen der sich verändernden Betriebszustände beim Offline-Training des Modells, um die von unmarkierten historischen Zeitreihendaten abgeleiteten Zustände zu erkennen und entsprechend zu markieren. Bei einem Kraftwerk steht zum Beispiel die erzeugte Leistung im Zusammenhang mit der Kraftwerkslast. Ein hoher Wert für die erzeugte Leistung weist darauf hin, dass sich der Prozess im Zustand „Volllast“ befindet, während eine geringere erzeugte Leistung darauf hindeutet, dass der Prozess mit Teillast betrieben wird.

Die ABB-Lösung ist in der Lage, Zustände sowohl mit einfachen als auch mit komplexeren Signaturen erfolgreich zu erkennen. Sind die Betriebszustände identifiziert, analysiert die Lösung den Betrieb und konfiguriert zustandsspezifische ML-Modelle, die sogenannte „Fahrspuren“ für alle bzw. die wichtigsten Betriebszustände generieren.



02

Als Online-Unterstützung für Anlagenfahrer markiert die Lösung den aktuellen Betriebszustand des Prozesses mithilfe der verfügbaren Online-Daten und nutzt das entsprechende ML-Modell zur Generierung von Fahrspuren zur Unterstützung des Anlagenpersonals in Echtzeit. Gleichzeitig überwacht die Lösung allmähliche Veränderungen in den Online-Daten – wenn zum Beispiel keiner der zuvor identifizierten Zustände auf die neu erzeugten Daten angewendet werden kann – und initiiert den Retraining-Workflow, sodass die neuen Betriebszustände erkannt und die ML-Modelle entsprechend aktualisiert werden können.

Die innovative Lösung von ABB ist Bestandteil der ABB Ability™ PlantInsight Operator Assist Plattform, die einen kompakten Überblick über komplexe Anlagen und passende Unterstützung für das Bedienpersonal in solchen Anlagen liefert.

—
Die innovative Lösung ist Bestandteil der ABB Ability™ PlantInsight Operator Assist Plattform.

Die Lösung wurde für verschiedene Anwendungsfälle von Kunden entwickelt und mit realen Datensätzen verschiedener Prozesse, zum Beispiel für die Chemikalienproduktion, Ölraffinerien und Kraftwerke, verifiziert.

Datenbasierte Zustandserkennung

Im ersten Schritt des Workflows werden die historischen Zeitreihendaten segmentiert und

mithilfe unüberwachter Clustering-Algorithmen für Zeitreihen wie k-Means oder TICC (Toeplitz Inverse Covariance-Based Clustering) [1] gruppiert. Die Cluster eines Segments repräsentieren dabei verschiedene Betriebszustände. Ein Beispiel der identifizierten Zustände von den unmarkierten Zeitreihendaten – hier „läuft“, „heruntergefahren“, „Anfahren“ und „Abfahren“ – ist in →03 dargestellt. Die Zustände „läuft“ und „heruntergefahren“ lassen sich durch Auswertung der Zeitreihen einfach voneinander unterscheiden: Befindet sich der Prozess im Zustand „läuft“, besitzen alle Prozessvariablen einen Wert, der nicht null ist (siehe rosafarbener Bereich in →03), wohingegen beim Zustand „heruntergefahren“ alle Variablen einen Wert von nahezu null aufweisen (gelber Bereich in →03). Erfolgte ein kurzfristiges Abfahren mit einem anschließenden Wiederanfahren, konnte die ABB-Lösung die kurzen, aber bedeutenden Übergangsphasen von „Anfahren“ (oranger Bereich) und „Abfahren“ (grüner Bereich) erfolgreich erkennen →03.

Da der Hauptzustand „heruntergefahren“ erkannt wird, obwohl bekannt ist, dass der Prozess durchgängig läuft, sollte von möglichen Unterzuständen innerhalb der Hauptzustände ausgegangen werden. Dazu wendet die ABB-Lösung den Zeitreihen-Clustering-Algorithmus auf die Zeitfenster an, die als ein oder mehrere Hauptzustände identifiziert wurden, und ermöglicht so die Erkennung möglicher Unterzustände. In dem in →04 dargestellten Beispiel entsprechen die Unterzustände den Durchflussmengen und dem Verhältnis zweier unterschiedlicher Brennstoffarten (dargestellt durch rote und blaue Linien im Diagramm), die während des betrachteten Prozesses zugeführt werden. Hier ist der Zeitraum, in dem der „rote“ Brennstoff gegenüber dem „blauen“ dominiert, gelb dargestellt. Im grün dargestellten Zeitraum hingegen überwiegt der „blaue“ Brennstoff gegenüber dem „roten“.

Somit ist die voll automatisierte ML-basierte Lösung von ABB in der Lage, die Betriebszustände und Unterzustände in dem betrachteten Prozess schnell, präzise und einfach zu erkennen. Eine Bestimmung der Zustände durch einen menschlichen Experten wäre hingegen mühsam, zeitaufwändig und somit weniger effizient.

Zustandsanalyse

Nach Identifizierung der Betriebszustände geht die ABB-Lösung einen Schritt weiter und analysiert die Zustände, um weitere nützliche Informationen zur historischen Performance der Produktion zu generieren. So können zum Beispiel Statistiken zu den identifizierten Zuständen und den entsprechenden Zeiträumen in den historischen Daten berechnet werden. Zwei Beispiele für eine solche Statistik – die

—
02 Schematische Darstellung des Workflows für die zustandsspezifische Bedienerunterstützung.

—
03 Beispiel für die Erkennung von Betriebszuständen aus historischen Daten. Rosa Bereich = Zustand „läuft“; gelber Bereich = Zustand „heruntergefahren“; oranger Bereich = Zustand „Anfahren“; grüner Bereich = Zustand „Abfahren“.

—
04 Im laufenden Prozess erkannte Unterzustände: Die blaue und die rote Linie geben die Durchflussmenge zweier verschiedener Brennstoffarten an. Die Lücken zwischen den farbig gekennzeichneten Zeiträumen gehören zu dem zuvor identifizierten Zustand „heruntergefahren“ und wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Analyse der Dauer jedes Betriebszustands und der Häufigkeit der Übergänge zwischen den Zuständen – sind in →05 dargestellt. Daraus lässt sich schließen, dass der Zustand „läuft“ etwa 65 Prozent und der Zustand „heruntergefahren“

—
Die Lösung konfiguriert zustandsspezifische ML-Modelle, die sogenannte „Fahrspuren“ generieren.

rund 20 Prozent der Zeit einnimmt. Außerdem kann aus der Häufigkeitsanalyse ein typischer Betriebsablauf abgeleitet werden: „läuft“ (R) → „Abfahren“ (D) → „heruntergefahren“ (N) → „Anfahren“ (U) → „läuft“ (R→D, D→N, N→U, U→R) →05. Bemerkenswert ist, dass einmal der Übergang von „Anfahren“ zu „heruntergefahren“ auftritt, was möglicherweise auf einen erfolglosen Anfahrversuch hindeutet. Solche Informationen können für eine nachträgliche Analyse der Produktionsleistung relevant sein.

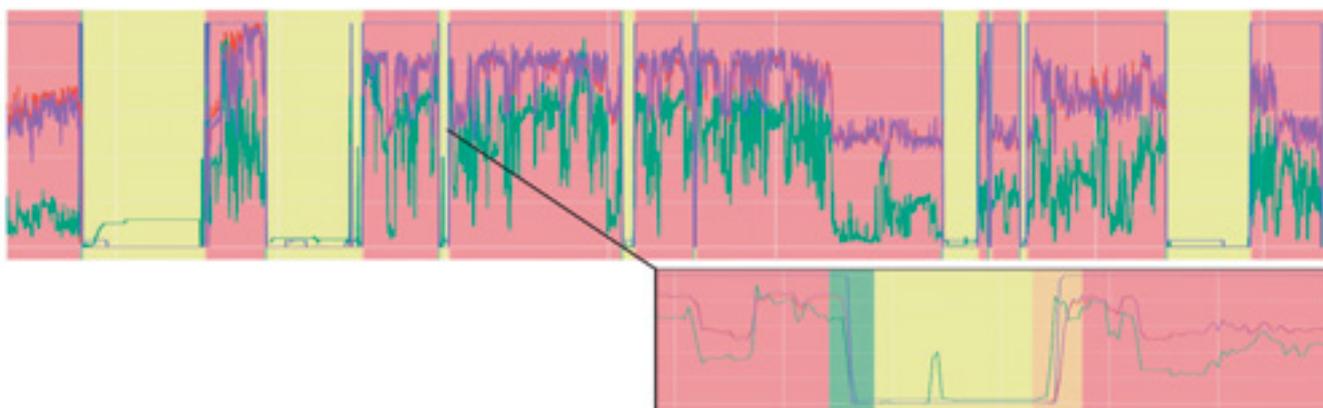
Zudem können die vom unüberwachten Zeitreihen-Clustering-Algorithmus generierten Markierungen weiterverwendet und durch XAI-Methoden (Explainable Artificial Intelligence) [2], die in der EU bald zur Pflicht werden sollen, erklärt werden, um Regeln für den Prozessbetrieb abzuleiten.

Die Regel für den in →03 dargestellten Zustand „läuft“ würde zum Beispiel lauten: Liegt die blaue Kurve über einem bestimmten Schwellenwert, der zum empirischen Wissen der Prozessexperten passt (wenn etwa der Prozess normal läuft), sollte eine Hauptprozessvariable nicht null sein. Solche Regeln stärken nicht nur das Vertrauen von Domänenexperten in datenbasierte Lösungen, was eine besondere Herausforderung darstellt, sondern liefern auch wichtige Erkenntnisse, wenn das Markieren der Betriebszustände in Echtzeit erfolgt.

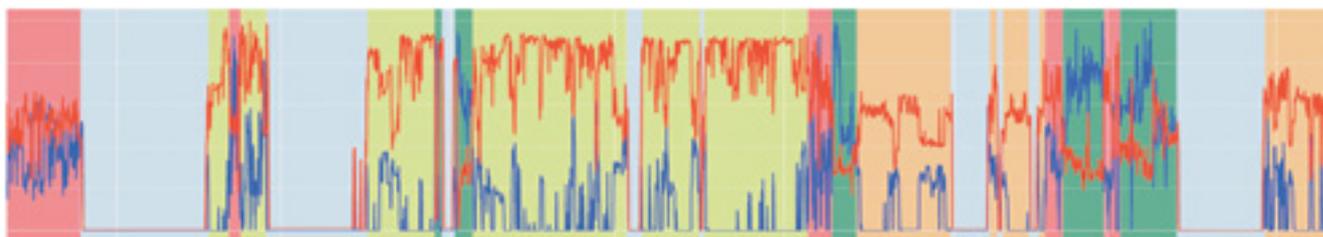
Zustandsspezifische Spurrassistenz

Um dem Bedienpersonal die Informationen auf intuitive und effiziente Weise zu präsentieren, nutzt ABB Ability™ PlantInsight Operator Assist das Konzept von „Fahrspuren“, in denen das Anlagenpersonal den Prozess halten muss, um eine sichere, nachhaltige und effiziente Produktion zu gewährleisten →06. Die Fahrspur wird als dynamisches, adaptives Band entlang der Zeitreihe bestimmter Prozessvariablen dargestellt.

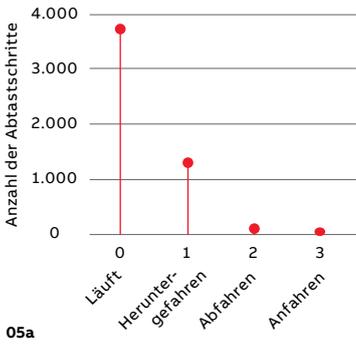
Die ABB-Lösung ermöglicht zudem die Konfiguration der Fahrspuren über multivariate, zustandsspezifische ML-Modelle. Eine Möglichkeit besteht darin, ein ML-Modell – z. B. einen Autoencoder – für jeden wichtigen Betriebszustand zu trainieren und dabei ausschließlich Daten zu verwenden, die für den betreffenden Zustand erfasst wurden. Solche ML-Modelle können das Verhalten des Prozesses bei einem bestimmten Zustand besser erfassen als ein allgemeines Modell, das mit Daten verschiedenster Zustände trainiert wird [3].



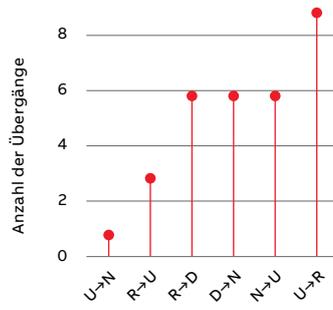
03



04



05a



05b

05 Statistische Ergebnisse der Betriebszustände.

05a Dauer der einzelnen Betriebszustände.

05b Häufigkeit der Übergänge zwischen den Zuständen (R: „läuft“, N: „heruntergefahren“; U: „Anfahren“; D: „Abfahren“).

06 Bedienoberfläche von ABB Ability™ PlantInsight Operator Assist.

Die ML-Modelle werden dann zur Berechnung der Fahrspuren genutzt, wobei die Spuren sowohl den aktuellen Prozesszustand als auch den Zusammenhang zwischen verschiedenen

So können Anlagenfahrer den Produktionsablauf und die Produktionsleistung besser verstehen und beurteilen.

Prozessvariablen berücksichtigen. Verglichen mit der Bandbreite herkömmlicher statischer Alarmgrenzen von Prozessvariablen sind solche Spuren wesentlich adaptiver und können viel schmalere

ausfallen, was eine frühzeitige Erkennung auch geringfügiger Abweichungen des Prozesses von der idealen Produktion ermöglicht.

Sowohl für das Bedienpersonal als auch für Systeme zur Bedienerunterstützung ist es wichtig, die historischen und aktuellen Betriebszustände wie die Lastbedingungen, Einsatzstoffe und die zu erwartende Güte der Endprodukte der Prozesse zu kennen. Nur so sind sie in der Lage, die Performance richtig zu beurteilen und die richtigen Entscheidungen zu treffen. Die ML-basierte Lösung von ABB erfüllt diese Anforderung durch Bereitstellung eines voll automatisierten, unüberwachten Workflows, der die Erkennung von Betriebszuständen und Unterzuständen anhand von Zeitreihendaten ermöglicht. Darüber hinaus liefert die innovative digitale Lösung zusätzliche Erkenntnisse durch Ableitung und Darstellung der historischen Zustände. Die Zustandsinformationen werden zum Training zustandsspezifischer ML-Modelle genutzt, die wiederum „Fahrspuren“ zur Erkennung von Abweichungen von der optimalen Produktion generieren.

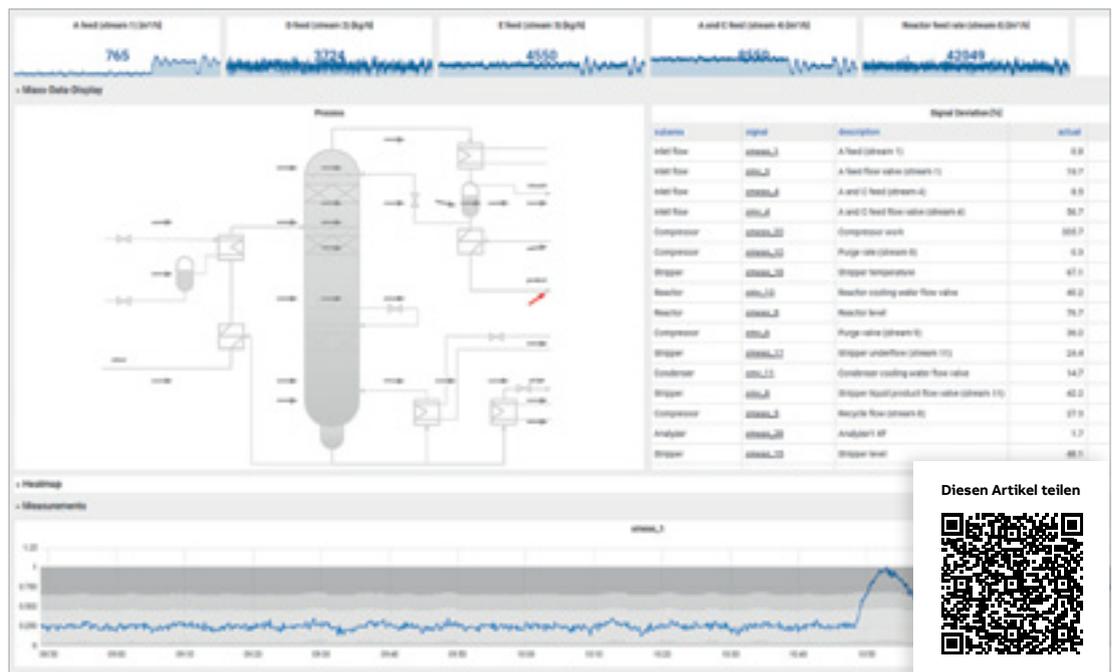
Mit der zustandsspezifischen Unterstützung, die diese Lösung bietet, sind Anlagenfahrer in der Lage, den Produktionsablauf und die Produktionsleistung ihrer Prozesse sowohl retrospektiv als auch in Echtzeit besser zu verstehen und zu beurteilen und somit eine sichere, nachhaltige und effiziente Produktion zu gewährleisten. •

Literaturhinweise

[1] D. Hallac et al.: „Toeplitz Inverse Covariance-Based Clustering of Multivariate Time Series Data“. arXiv, 2018. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1706.03161v2> (abgerufen am 17.07.2023).

[2] The Royal Society (2018): „Explainable AI: the basics –Policy briefing“. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/ai-and-interpretability-policy-briefing_creative_commons.pdf (abgerufen am 17.07.2023).

[3] R. Tan et al.: „An on-line framework for monitoring nonlinear processes with multiple operating modes“. Journal of Process Control, Vol. 89, 2020, S. 119–130.



Diesen Artikel teilen



STICHWORTINDEX 2023

ABB Ability™

ABB Ability™ Cyber Security Workplace	21
Unterstützung der Schifffahrt mit OVERSEA	25
Bessere Serviceentscheidungen für ABB-Messgeräte mit ABB Ability™ Smart Master	26
Erforschung von autonomen Lösungen für Schiffe	29
Weg mit den Kabeln: 5G für die Prozessautomatisierung (siehe auch Korrigendum, S. 85)	34–39
Perfekter Kreislauf: Digitalisierung und Nachhaltigkeit	44–49
Digitale Zukunft: Umrichter-Steuerungsplattform der nächsten Generation	50–53
Sicherer Cyberspace: ABB Ability™ Cyber Security Workplace	112–117
Der Zustandswächter: Bessere Serviceentscheidungen mit ABB Ability™ Smart Master	124–127
Volle Ladung voraus: Das weltweit erste vollautomatische Ladesystem für Bergbaufahrzeuge	140–145
Strömungsmodellierung: Multiphysikalisches Reduced-Order-Modell zur Luftreinhaltung in Bergwerken	146–151
Industrial Metaverse: Buzzwords entschlüsselt	152–153
Nachhaltiges Netz: Das Stromnetz als Schlüssel zu einem nachhaltigeren Energiesystem	172–179
Unsere Mission: Intelligentes Energie- und Asset-Management für energieeffiziente Gebäude	180–187
Nachhaltig wohnen: Interview: Intelligente Gebäude und die ABB Electrification Startup Challenge	188–193
Perfekte Partner: Microsoft und ABB ermöglichen Verbesserung der Energieeffizienz in Kundenbetrieben	194–199
Veränderte Sicht auf die Dinge: Ein Vision-System zur Unterstützung des Ausgucks auf Schiffen	250–255
Integrierte Lösungen: Die Zukunft der Elektrifizierung im Bergbau	268–273
Erweiterung des Sicherheitsnetzes: SIEM bringt Cybersicherheit in den OT-Bereich	274–277
In der richtigen Spur: Zustandsspezifische Assistenz für kontinuierliche Prozesse	296–300

ABB Formel E

Umschalten auf E: Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Umstellung auf Elektrofahrzeuge (siehe auch Korrigendum, S. 235)	168–171
Nachhaltig wohnen: Interview: Intelligente Gebäude und die ABB Electrification Startup Challenge	188–193

ABB-free@home®/Busch-free@home®

Nachhaltig wohnen: Interview: Intelligente Gebäude und die ABB Electrification Startup Challenge	188–193
--	---------

Antriebssysteme

Sofortiger Zugriff auf Produktdaten	18
Neue Steuerungsplattform für Frequenzumrichter	22
ABB eröffnet F&E-Hub für Servoprodukte in Nanjing	27
Digitale Zukunft: Umrichter-Steuerungsplattform der nächsten Generation	50–53
Der direkte Draht: ABB Access bietet Zugang zu vielfältigen Informationen	128–133
Cooler Lösung: Additiv gefertigte Kühlelemente für Niederspannungs-Frequenzumrichter	222–227
Wahlverwandtschaften: Betriebliche Optimierung von drehzahleregelten Antriebssystemen	262–267

Batterien

Automatisches E-Ladesystem für Bergbaufahrzeuge	20
Modularer Energiespeicher BORDLINE® ESS	28
BORDLINE® ESS: Hochleistungs-Traktionsbatterien für Schienenfahrzeuge	62–65
Saubere Sache? CO ₂ -Emissionen aus der Produktion und Nutzung von E-Fahrzeug-Batterien	136–139
Volle Ladung voraus: Das weltweit erste vollautomatische Ladesystem für Bergbaufahrzeuge	140–145
Integrierte Lösungen: Die Zukunft der Elektrifizierung im Bergbau	269–273
Flexibler Ladepreis: Dynamische Preisfindung für das Laden von E-Fahrzeugen	290–295

Bergbau

Automatisches E-Ladesystem für Bergbaufahrzeuge	20
Modularer Energiespeicher BORDLINE® ESS	28
Perfekter Kreislauf: Digitalisierung und Nachhaltigkeit	44–49
Volle Ladung voraus: Das weltweit erste vollautomatische Ladesystem für Bergbaufahrzeuge	140–145
Strömungsmodellierung: Multiphysikalisches Reduced-Order-Modell zur Luftreinhaltung in Bergwerken	146–151
Integrierte Lösungen: Die Zukunft der Elektrifizierung im Bergbau	268–273

ÜBERSICHT SEITENNUMMERIERUNG

ABB Review 01/2023	S. 01–82
ABB Review 02/2023	S. 83–154
ABB Review 03/2023	S. 155–232
ABB Review 04/2023	S. 233–308

Bildererkennung

Erforschung von autonomen Lösungen für Schiffe	29
Auf den Punkt: High Speed Alignment für hochpräzise Montageaufgaben	92–99
Veränderte Sicht auf die Dinge: Ein Vision-System zur Unterstützung des Ausgucks auf Schiffen	250–255

Buzzwords entschlüsselt

OPC UA	80–81
Industrial Metaverse	152–153
CO ₂ -Neutralität und Netto-Null	228–229
Gaia-X	306–307

Cybersicherheit

Schnelle und präzise Überwachung der Erdgasqualität	19
ABB Ability™ Cyber Security Workplace	21
Neue Steuerungsplattform für Frequenzumrichter	22
Sicheres Onboarding: OPC UA für eine sichere industrielle Kommunikation	40–43
Digitale Zukunft: Umrichter-Steuerungsplattform der nächsten Generation	50–53
ABB-Forschungspreis 2022: Auszeichnung für Arbeit zur Sicherheit vernetzter Geräte	88–89
Sicherer Cyberspace: ABB Ability™ Cyber Security Workplace	112–117
Erweiterung des Sicherheitsnetzes: SIEM bringt Cybersicherheit in den OT-Bereich	274–277

Datenräume

Gaia-X: Buzzwords entschlüsselt	306–307
---------------------------------	---------

Diamanten

140 Jahre ASE: Pionierleistungen	238–247
----------------------------------	---------

Digitaler Zwilling

Sicheres Onboarding: OPC UA für eine sichere industrielle Kommunikation	40–43
Perfekter Kreislauf: Digitalisierung und Nachhaltigkeit	44–49
Das PLS von morgen: Ein Blick in die Zukunft der Prozessautomation	106–111
Strömungsmodellierung: Multiphysikalisches Reduced-Order-Modell zur Luftreinhaltung in Bergwerken	146–151
Industrial Metaverse: Buzzwords entschlüsselt	152–153
Von der Edge bis zur Cloud: Der Pratexo-CEO über schnellere Entwicklung dezentraler Softwarearchitekturen	206–213
Optimal dimensioniert: Ganzheitliche Optimierung bei der Planung von Wasserstoff-Produktionsanlagen	216–221
Wahlverwandtschaften: Betriebliche Optimierung von drehzahleregelten Antriebssystemen	262–267



Drahtlose Kommunikation

Weg mit den Kabeln: 5G für die Prozessautomatisierung (siehe auch Korrigendum, S. 85)34–39

ABB-Forschungspreis 2022: Auszeichnung für Arbeit zur Sicherheit vernetzter Geräte88–89

Intelligente Verteilung: Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung280–289

E-Fahrzeuge

Automatisches E-Ladesystem für Bergbaufahrzeuge20

Modularer Energiespeicher BORDLINE® ESS28

Saubere Sache? CO₂-Emissionen aus der Produktion und Nutzung von E-Fahrzeug-Batterien136–139

Volle Ladung voraus: Das weltweit erste vollautomatische Ladesystem für Bergbaufahrzeuge140–145

Umschalten auf E: Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Umstellung auf Elektrofahrzeuge (siehe auch Korrigendum, S. 235)168–171

Integrierte Lösungen: Die Zukunft der Elektrifizierung im Bergbau268–273

Intelligente Verteilung: Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung280–289

Flexibler Ladepreis: Dynamische Preisfindung für das Laden von E-Fahrzeugen Mithilfe von Reinforcement Learning290–295

Eisenbahn

Modularer Energiespeicher BORDLINE® ESS28

BORDLINE® ESS: Hochleistungs-Traktionsbatterien für Schienenfahrzeuge62–65

Forschungspreis zu Ehren von Hubertus von Grünberg

ABB-Forschungspreis 2022: Auszeichnung für Arbeit zur Sicherheit vernetzter Geräte88–89

Gebäudeautomation

Unsere Mission: Intelligentes Energie- und Asset-Management für energieeffiziente Gebäude180–187

Nachhaltig wohnen: Interview: Intelligente Gebäude und die ABB Electrification Startup Challenge188–193

Geschichte

Postkarten (900. Ausgabe)07–08

Die Schultern von Riesen: ABB Review erscheint in der 900. Ausgabe (siehe auch Korrigendum, S. 85)09–15

140 Jahre ASEA: Pionierleistungen238–247

Gleichstromsysteme

Sicher an Bord: Halbleiterbasierter Schutz für DC-Bordnetze72–79

Der Weg zur Nachhaltigkeit: Interview mit Anke Hampel, Head of Sustainability bei ABB162–167

140 Jahre ASEA: Pionierleistungen238–247

Instrumentierung und Analyse

Schnelle und präzise Überwachung der Erdgasqualität19

Bessere Serviceentscheidungen für ABB-Messgeräte mit ABB Ability™ Smart Master26

Der Zustandswächter: Bessere Serviceentscheidungen mit ABB Ability™ Smart Master124–127

Das Multitalent: Echtzeit-Messung von Gasverunreinigungen durch laserbasierte spektroskopische Analyse256–262

Interviews

Der Weg zur Nachhaltigkeit: Interview mit Anke Hampel, Head of Sustainability bei ABB162–167

Nachhaltig wohnen: Interview: Intelligente Gebäude und die ABB Electrification Startup Challenge188–193

Von der Edge bis zur Cloud: Der Pratexo-CEO über schnellere Entwicklung dezentraler Softwarearchitekturen206–213

Kreislaufwirtschaft

Perfekter Kreislauf: Digitalisierung und Nachhaltigkeit44–49

Eine zirkuläre Zukunft: Nachhaltigkeit im Leben eines Elektromotors56–61

Der Weg zur Nachhaltigkeit: Interview mit Anke Hampel, Head of Sustainability bei ABB162–167

Leistungselektronik

Nachhaltiges Netz: Das Stromnetz als Schlüssel zu einem nachhaltigeren Energiesystem172–179

Cooler Lösung: Additiv gefertigte Kühlelemente für Niederspannungsfrequenzumrichter222–227

Leserumfrage

Sie lesen, wir hören230–231

Metaverse

Industrial Metaverse: Buzzwords entschlüsselt152–153



Mission to Zero™

- Perfekter Kreislauf: Digitalisierung und Nachhaltigkeit 44–49
- Der Weg zur Nachhaltigkeit: Interview mit Anke Hampel, Head of Sustainability bei ABB 162–167
- Nachhaltiges Netz: Das Stromnetz als Schlüssel zu einem nachhaltigeren Energiesystem 172–179
- Unsere Mission: Intelligentes Energie- und Asset-Management für energieeffiziente Gebäude 180–187
- Perfekte Partner: Microsoft und ABB ermöglichen Verbesserung der Energieeffizienz in Kundenbetrieben 194–199
- CO₂-Neutralität und Netto-Null: Buzzwords entschlüsselt 228–229

Motoren und Generatoren

- Sofortiger Zugriff auf Produktdaten 18
- Energieeffiziente Permanentmagnet-Technologie für Wellengeneratoren 30
- Eine zirkuläre Zukunft: Nachhaltigkeit im Leben eines Elektromotors 56–61
- Der direkte Draht: ABB Access bietet Zugang zu vielfältigen Informationen 128–133
- 140 Jahre ASEA: Pionierleistungen 238–247

Netzbetrieb

- Rotierende Phasenschieber zur Netzstabilisierung 31
- Stützen fürs Netz: Rotierende Phasenschieber zur Netzstabilisierung 66–71
- Die Vorzüge der Virtualisierung: Virtuelle Schutz- und Steuerungsfunktionen für Unterstationen 118–123
- Nachhaltiges Netz: Das Stromnetz als Schlüssel zu einem nachhaltigeren Energiesystem 172–179
- 140 Jahre ASEA: Pionierleistungen 238–247
- Intelligente Verteilung: Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung 280–289
- Flexibler Ladepreis: Dynamische Preisfindung für das Laden von E-Fahrzeugen Mithilfe von Reinforcement Learning 290–295

Nobel Prize Outreach

- Gasteditorial: Dem Wissen verpflichtet 04

Öl und Gas

- Schnelle und präzise Überwachung der Erdgasqualität 19
- Das Multitalent: Echtzeit-Messung von Gasverunreinigungen durch laserbasierte spektroskopische Analyse 256–262

Prozesssteuerung

- Weg mit den Kabeln: 5G für die Prozessautomatisierung (siehe auch Korrigendum, S. 85) 34–39
- Sicheres Onboarding: OPC UA für eine sichere industrielle Kommunikation 40–43
- OPC UA: Buzzwords entschlüsselt 80–81
- Das PLS von morgen: Ein Blick in die Zukunft der Prozessautomation 106–111
- Sicherer Cyberspace: ABB Ability™ Cyber Security Workplace 112–117
- Intelligente Verteilung: Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung 280–289

Robotik

- Schneller, einfacher und besser mit High Speed Alignment 23
- Automatische Erstellung kollisionsfreier Programme 24
- Zwei neue Familien von Großrobotern 24
- Auf den Punkt: High Speed Alignment für hochpräzise Montageaufgaben 92–99
- Bewegungsoptimierung: Software für eine optimale Roboterperformance 100–105
- 140 Jahre ASEA: Pionierleistungen 238–247

Schifffahrt

- Unterstützung der Schifffahrt mit OVERSEA 25
- Erforschung von autonomen Lösungen für Schiffe 29
- Energieeffiziente Permanentmagnet-Technologie für Wellengeneratoren 30
- Sicher an Bord: Halbleiterbasierter Schutz für DC-Bordnetze 72–79
- Veränderte Sicht auf die Dinge: Ein Vision-System zur Unterstützung des Ausgucks auf Schiffen 250–255

Schutz

- Sicher an Bord: Halbleiterbasierter Schutz für DC-Bordnetze 72–79
- Intelligente Verteilung: Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung 280–289

Simulation

- Bewegungsoptimierung: Software für eine optimale Roboterperformance 100–105
- Das PLS von morgen: Ein Blick in die Zukunft der Prozessautomation 106–111
- Die Vorzüge der Virtualisierung: Virtuelle Schutz- und Steuerungsfunktionen für Unterstationen 118–123
- Strömungsmodellierung: Multiphysikalisches Reduced-Order-Modell zur Luftreinhaltung in Bergwerken 146–151
- Industrial Metaverse: Buzzwords entschlüsselt 152–153
- Wahlverwandtschaften: Betriebliche Optimierung von drehzahleregelten Antriebssystemen 262–267
- Intelligente Verteilung: Anwendung von IoT-Technologien auf die Verteilnetzautomatisierung 280–289
- Flexibler Ladepreis: Dynamische Preisfindung für das Laden von E-Fahrzeugen Mithilfe von Reinforcement Learning 290–295

SPS

- Sofortiger Zugriff auf Produktdaten 18
- Der direkte Draht: ABB Access bietet Zugang zu vielfältigen Informationen 128–133

SynerLeap

- Perfekte Partner: Microsoft und ABB ermöglichen Verbesserung der Energieeffizienz in Kundenbetrieben 194–199
- Von der Edge bis zur Cloud: Der Prateco-CEO über schnellere Entwicklung dezentraler Softwarearchitekturen 206–213

Wasserstoff

- Optimal dimensioniert: Ganzheitliche Optimierung bei der Planung von Wasserstoff-Produktionsanlagen 216–221

Zellstoff und Papier

- Klabin und ABB: Eine nachhaltige Partnerschaft (siehe auch Korrigendum, S. 235) 200–205

Diesen Index teilen





01|2023

Innovation gestern und heute



Komplette
Ausgabe
01/2023
ansehen



02|2023

Erweitertes Wissen



Komplette
Ausgabe
02/2023
ansehen

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 Prozessautomatisierung
- 40 **Sicheres Onboarding**
OPC UA für eine sichere
industrielle Kommunikation
- 44 **Perfekter Kreislauf**
Digitalisierung und Nachhaltigkeit
- 50 **Digitale Zukunft**
Umrücker-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**

Forschungspreis

- 88 **ABB-Forschungspreis 2022**
Auszeichnung für Arbeit zur
Sicherheit vernetzter Geräte

Erweitertes Wissen

- 92 **Auf den Punkt**
High Speed Alignment für
hochpräzise Montageaufgaben
- 100 **Bewegungsoptimierung**
Software für eine optimale
Roboterperformance
- 106 **Das PLS von morgen**
Ein Blick in die Zukunft der
Prozessautomation
- 112 **Sicherer Cyberspace**
ABB Ability™ Cyber Security
Workplace
- 118 **Die Vorzüge der
Virtualisierung**
Virtuelle Schutz- und
Steuerungsfunktionen für
Unterstationen
- 124 **Der Zustandswächter**
Bessere Serviceentscheidungen
mit ABB Ability™ Smart Master
- 128 **Der direkte Draht**
ABB Access bietet Zugang zu
vielfältigen Informationen

Assets in Bewegung

- 136 **Saubere Sache?**
CO₂-Emissionen aus der
Produktion und Nutzung von
E-Fahrzeug-Batterien
- 140 **Volle Ladung voraus**
Das weltweit erste
vollautomatische Ladesystem
für Bergbaufahrzeuges
- 146 **Strömungsmodellierung**
Multiphysikalisches
Reduced-Order-Modell zur
Luftreinigung in Bergwerken

Buzzwords entschlüsselt

- 152 **Industrial Metaverse**
Wie kann das Industrial
Metaverse ABB und ihren
Kunden helfen?



03|2023

Nachhaltigkeit



Komplette
Ausgabe
03/2023
ansehen



04|2023

Erkennung und Analyse



Komplette
Ausgabe
04/2023
ansehen

Nachhaltigkeit

- 162 **Der Weg zur Nachhaltigkeit**
Interview mit Anke Hampel,
Head of Sustainability bei ABB
- 168 **Umschalten auf E**
Verbesserung der Nachhaltig-
keit durch Umstellung auf
Elektrofahrzeuge
- 172 **Nachhaltiges Netz**
Das Stromnetz als Schlüssel
zu einem nachhaltigeren
Energiesystem
- 180 **Unsere Mission**
Intelligentes Energie- und
Asset-Management für ener-
gieeffiziente Gebäude
- 188 **Nachhaltig wohnen**
Interview: Intelligente Gebäude
und die ABB Electrification
Startup Challenge
- 194 **Perfekte Partner**
Microsoft und ABB ermöglichen
Verbesserung der Energieeffi-
zienz in Kundenbetrieben
- 200 **Klabin und ABB**
Eine nachhaltige Partnerschaft
- 206 **Von der Edge bis zur Cloud**
Der Pratexo-CEO über schnel-
lere Entwicklung dezentraler
Softwarearchitekturen

Technologie

- 216 **Optimal dimensioniert**
Ganzheitliche Optimierung
bei der Planung von Wasser-
stoff-Produktionsanlagen
- 222 **Cooler Lösung**
Additiv gefertigte Kühlele-
mente für Niederspannungs-
Frequenzumrichter
- 228 **CO₂-Neutralität und Netto-Null**

Buzzwords entschlüsselt

Leserumfrage 2023

- 230 **Sie lesen, wir hören**

Pionierleistungen

- 238 **140 Jahre ASEA**
- 250 **Veränderte Sicht auf die Dinge**
Ein Vision-System zur Unter-
stützung des Ausgucks auf
Schiffen
- 256 **Das Multitalent**
Echtzeit-Messung von Gasver-
unreinigungen durch laserba-
sierte spektroskopische
Analyse
- 262 **Wahlverwandtschaften**
Betriebliche Optimierung von
drehzahleregelten Antriebs-
systemen
- 268 **Integrierte Lösungen**
Die Zukunft der Elektrifizierung
im Bergbau
- 274 **Erweiterung des Sicherheits-
netzes**
SIEM bringt Cybersicherheit
in den OT-Bereich

Angewandte KI

- 280 **Intelligente Verteilung**
Anwendung von IoT-Technolo-
gien auf die Verteilnetzautoma-
tisierung
- 290 **Flexibler Ladepreis**
Dynamische Preisfindung für
das Laden von E-Fahrzeugen
mithilfe von Reinforcement
Learning
- 296 **In der richtigen Spur**
Zustandsspezifische Assistenz
für kontinuierliche Prozesse

Index

- 301 **Stichwortindex 2023**
- 304 **Index 2023**

Buzzwords entschlüsselt

- 306 **Gaia-X**

Diesen Index teilen





BUZZWORDS ENTSCHLÜSSELT

Gaia-X

Obwohl es einfach klingt, sorgt es aktuell häufig für Unklarheiten und Missverständnisse – die Rede ist von Datenräumen oder „Dataspaces“. Wozu sind sie gut? Und was haben Gaia-X und Catena-X damit zu tun?

—
Rhaban Hark
Sten Grüner
Marco Ulrich

ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

rhaban.hark@
de.abb.com
sten.gruener@
de.abb.com
marco.ulrich@
de.abb.com

Vereinfacht gesagt besteht der Zweck von Datenräumen darin, die gemeinsame Nutzung von Daten über verschiedene Domänen und Unternehmen hinweg zu ermöglichen, um neue Geschäftsmodelle auf der Grundlage datenbasierter Services zu unterstützen. Dabei sollen Einschränkungen hinsichtlich des Vertrauens in bestehende Infrastrukturen und der Zugänglichkeit von Daten überwunden werden. Mit diesem Ziel vor Augen sind verschiedene Initiativen wie die International Data Space Association (IDSA) [1] und Gaia-X [2] dabei, entsprechende Grundsätze, Standards und technische Lösungen zu erarbeiten. Ein Beispiel für eine erste Umsetzung eines Datenraums auf dieser Grundlage ist Catena-X [3].

Um zu verstehen, was Datenräume sind, sollte man zuerst wissen, was sie nicht sind:

- Datenräume wie Gaia-X werden häufig fälschlicherweise als europäische Alternative zu Cloudanbietern wie Google, Amazon usw. dargestellt. Das sind sie nicht.
- Dataspaces sind weder eine Ansammlung von Cloudspeicherdiensten noch eine gemeinsame Datenbank zur Schaffung eines Data Lakes.
- Ein weiteres verbreitetes Missverständnis ist, dass die Teilnahme an einem Datenraum die

Daten für alle Teilnehmer zugänglich macht. Dies widerspricht der Datensouveränität, einem der Grundprinzipien von Datenräumen.

Was sind Datenräume dann? Datenräume sind regulierte Umgebungen, die die Bereitstellung und Nutzung von Daten und datenbasierten Services unter Berücksichtigung von Grundprinzipien wie Offenheit, Transparenz, Vertrauen, Datensouveränität, Sicherheit und Dezentralisierung unterstützen. Offenheit sorgt dabei dafür, dass jeder dem Datenraum beitreten kann, während die Datensouveränität jedem Datenanbieter die volle Kontrolle über seine Daten und deren Nutzung garantiert.

Die Gaia-X-Initiative entwickelt technische und juristische Richtlinien für zukünftige Datenraum-Konzepte in Form von dokumentierten Grundsätzen, Regeln und Standards für technische Lösungen, die Daten- und Serviceanbieter mit den Nutzern verbinden.

Teilnehmer an einem Datenraum müssen die Einhaltung der Vorgaben für sich und ihr Angebot durch Dokumentation, technischen Nachweis und Audits verifizieren, um ihre Vertrauenswürdigkeit gegenüber anderen Teilnehmern sicherzustellen.

Initiativen wie Gaia-X spezifizieren generische Technologiebausteine, die die Realisierung von Datenräumen erlauben. Diese Bausteine umfas-

—
Gaia-X entwickelt technische und juristische Richtlinien für zukünftige Datenraum-Konzepte.

sen sogenannte Föderationsdienste (Federation Services) und Referenzimplementierungen. Federation Services helfen dabei, gegenseitiges Vertrauen zwischen den Teilnehmern aufzubauen,

Diesen Artikel teilen



Daten- oder Serviceverträge zu erstellen und einen regelbasierten Datenaustausch zu erleichtern. Die Services werden von ausgewählten Datenraum-Teilnehmern (nicht von Gaia-X selbst) gehostet, die weder Zugang zu Betriebsdaten haben noch auf den gegenseitigen Datenaustausch zwischen Teilnehmern einwirken können.

Neben den von der IDSA und Gaia-X festgelegten „Spielregeln“ gibt es bereits erste Anwendungen. Die bekannteste ist Catena-X, ein Datenraum für die Automobilindustrie. Catena-X basiert in hohem Maße auf Open-Source-Software wie den Eclipse Dataspace Components (EDC) [5], die Technologie-Blaupausen für kommende Datenräume bereitstellen.

Der Reifegrad von Gaia-X und den meisten Umsetzungen – außer Catena-X – ist noch begrenzt, und es bleibt abzuwarten, wie sich Implementierungen und Anwendungen von Datenräumen entwickeln werden. Ein potenzieller, für die Schlüsselbranchen von ABB interessanter Kandidat ist Manufacturing-X. Das Ziel von Manufacturing-X ist es, ein flexibles, vertrauenswürdiges und souveränes Datenökosystem zu schaffen, das Teilnehmern die Möglichkeit bietet, die zahlreichen Vorzüge der Digitalisierung – wie sie zum Beispiel in der Industrie 4.0 Ausdruck finden – voll auszuschöpfen. •

Literaturhinweise

[1] IDSA-Publikationen: <https://internationaldataspaces.org/publications/about-idsa/>

[2] Gaia-X: „Vision & Mission“. Verfügbar unter: <https://gaia-x.eu/what-is-gaia-x/vision-and-mission/>. (abgerufen am 01.07.2023).

[3] Catena-X: „The Vision of Catena-X“. Verfügbar unter: <https://catena-x.net/en/vision-goals>. (abgerufen am 05.07.2023).

[4] Sovereign Cloud Stack: „About Sovereign Cloud Stack“. Verfügbar unter: <https://scs.community/about> (abgerufen am 05.07.2023).

[5] Eclipse Foundation: „Eclipse Dataspace Components“. Verfügbar unter: <https://projects.eclipse.org/projects/technology.edc> (abgerufen am 05.07.2023).

ABONNEMENT

ABB Review abonnieren

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

Die ABB Review erscheint seit 1914; aktuell viermal pro Jahr auf Englisch, Deutsch und Chinesisch (die Ausgabe 04/2023 einmalig auch auf Schwedisch) und wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind.

Bleiben Sie auf dem Laufenden ...

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



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

FRANZÖSISCHE UND SPANISCHE VERSION

Mit Bedauern haben wir beschlossen, die französische und spanische Version der ABB Review einzustellen. Ab der Ausgabe 01/2023 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 mitteilen.

SCHWEDISCHE AUSGABE

Anlässlich des 140. Jubiläums von ASEA erscheint die vorliegende Ausgabe der ABB Review einmalig auch auf Schwedisch: abb.com/abbreview

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, Measurement & Analytics, ABB Process Automation

Adrienne Williams

Senior Sustainability Advisor

Reiner Schönrock†

Head of Product & Innovation Communication

James Macaulay

Senior Director, Communications & Thought Leadership

Andreas Moglestue

Chief Editor, ABB Review 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 Bruggerstr. 66 5400 Baden Schweiz 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.

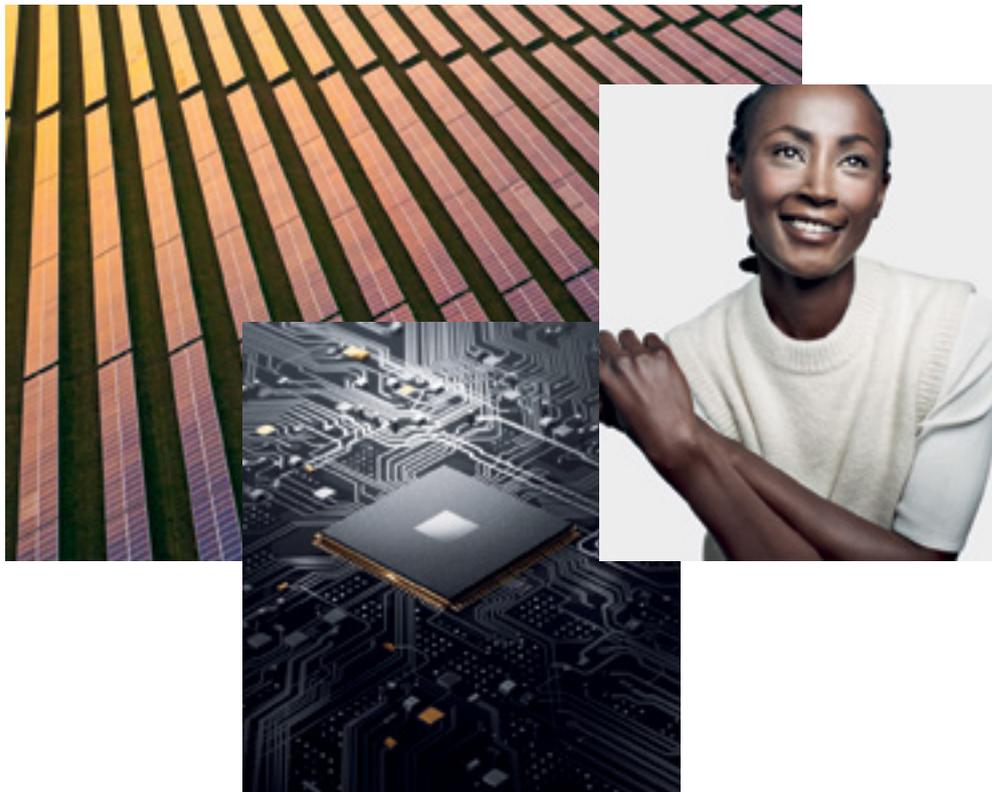
04/2023 ist die 903. Ausgabe der ABB Review.

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbreview

Nächste Ausgabe
01/2024
Innovation





Willkommen zu „billions of better decisions”.

Wenn wir mehr wissen, können wir besser sein.
Sehen Sie wie unter go.abb/progress

ABB