

review

EINE DER AM LÄNGSTEN
ERSCHEINENDEN
FACHZEITSCHRIFTEN DER WELT

02|2023 de

Erweitertes Wissen



100

90 – 133 **Erweitertes Wissen**

134 – 151 **Assets in Bewegung**



128



92

Auf den Punkt



112

Sicherer Cyberspace

Strömungsmodellierung



146

87 Editorial

-
- 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 voll-
automatische Ladesystem für
Bergbaufahrzeuge
- 146 **Strömungsmodellierung**
Multiphysikalisches Reduced-
Order-Modell zur Luftreinhaltung
in Bergwerken

Buzzwords entschlüsselt

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

-
- 153 **Abonnement**
- 153 **Französische und spanische
Version**
- 153 **Impressum**

Seitennummerierung

Wie Sie sehen, verwendet die ABB Review ab diesem Jahr wieder die für wissenschaftliche Zeitschriften übliche jahrgangweise Seitennummerierung mit dem Ziel, unserer wissenschaftlichen Leserschaft das Zitieren zu erleichtern.

Korrigendum

„Die Schultern von Riesen“, *ABB Review* 1/2023, S. 9–15: Auf Seite 11 (Legende zu Bild 02) und Seite 13 (zweiter Absatz), muss der Name der ASEA-Zeitschrift ASEA Journal, nicht ASEA Review lauten.

„Weg mit den Kabeln“, *ABB Review* 1/2023, S. 34–39: Folgender Mitautor wurde nicht aufgeführt: Abdulkadir Karaagac, ABB Corporate Research, Ladenburg, Deutschland, abdulkadir.karaagac@de.abb.com. Die Danksagung auf Seite 38 muss lauten:

„Die Autoren bedanken sich bei den Kollegen von ABB Corporate Research in Västerås, Schweden, und aus der F&E von Ericsson für ihre wertvollen Beiträge.“

Wir bitten, diese Fehler zu entschuldigen.

Erweitertes Wissen

Daten erfassen ist eines. Die Herausforderung besteht darin, sie mit bisherigen Erfahrungen zu verknüpfen, bedarfsgerecht bereitzustellen und kontinuierlich zu aktualisieren. Wir zeigen, wie mit dem daraus resultierenden erweiterten Wissen Einsparungen und Leistungsverbesserungen erzielt werden können. Scannen Sie den folgenden QR-Code, um die ABB Review kostenlos in gedruckter Form oder online und/oder unseren Newsletter zu abonnieren.



EDITORIAL

Erweitertes Wissen



Liebe Leserin, lieber Leser,

in einem zunehmend wettbewerbsintensiven und schnelllebigen Marktumfeld erwarten Unternehmen eine schnelle und effiziente Installation und Anpassung ihrer Produktionssysteme mit minimaler Störung des Betriebs. Angesichts immer komplexerer und vielseitigerer Anlagen und Prozesse lassen sich diese Erwartungen nur mithilfe ausgeklügelter Tools erfüllen, die Planung, Konfiguration und Betrieb unterstützen.

In dieser Ausgabe der ABB Review lesen Sie, wie fortschrittliche Software die Wartung, Upgrades und die Verarbeitung in verschiedenen Anwendungen von Unterstationen bis hin zu Lebensmittel- und Getränkeanlagen beschleunigt und effizienter gestaltet. Zu den Highlights gehören ein Toolkit, das die Einrichtung von Robotern vereinfacht, und eine Lösung, die verschiedene Cybersicherheitskontrollen bündelt.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

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

Björn Rosengren
Chief Executive Officer, ABB Group

AUSZEICHNUNG FÜR ARBEIT ZUR SICHERHEIT VERNETZTER GERÄTE

ABB-Forschungspreis 2022

Der ABB-Forschungspreis zu Ehren von Hubertus von Grünberg 2022 ging an Dr. Utsav Banerjee aus Indien. Mit dem Preis erhält Dr. Banerjee eine Förderung in Höhe von 300.000 USD für seine Arbeit an integrierten Schaltungen und Systemen zur Erhöhung der Sicherheit des Internets der Dinge (IoT) und vernetzter Geräte.



Alf Isaksson

ABB Corporate Research
Västerås, Schweden

alf.isaksson@se.abb.com

Der ABB-Forschungspreis zu Ehren des ehemaligen ABB-Verwaltungsratspräsidenten Hubertus von Grünberg →01 wird alle drei Jahre an externe Forscher verliehen. Der Preisträger wird aus zahlreichen Bewerbungen von einer Jury ausgewählt, der neben

Der Preis ist mit einem der höchstdotierten Forschungsstipendien verbunden.

einigen hochkarätigen Wissenschaftlern auch Dr. Bernhard Eschermann, Chief Technology Officer des ABB-Geschäftsbereichs Prozessautomatisierung, und Dr. Hubertus von Grünberg angehören.

Der Gewinner erhält eine Forschungsförderung in Höhe von 300.000 USD über einen Zeitraum von drei Jahren. Damit ist der Preis mit einem der höchstdotierten Forschungsstipendien eines Unternehmens verbunden. Die Verleihung erfolgt durch den CEO von ABB im Rahmen einer besonderen Zeremonie →02.

Ziel des Preises ist es, die Spitzenforschung in den Hauptbetätigungsfeldern von ABB – Elektrifizierung und Automatisierung – zu fördern. Der

HUBERTUS VON GRÜNBERG

Von Grünberg, der als theoretischer Physiker 1970 seine Dissertation über Einsteins Relativitätstheorie schrieb, war maßgeblich daran beteiligt, ABB auf einen nachhaltigen Wachstumskurs zu führen und den Ruf des Unternehmens als technologischer Innovationsführer zu zementieren. Dank ihm wurde die Förderung der Forschung sowohl an Hochschulen als auch im Unternehmen zum festen Bestandteil der Strategie von ABB.

Während seiner Amtszeit als Verwaltungsratspräsident von 2007 bis 2015 erzielte ABB bemerkenswerte technische Durchbrüche wie den hybriden Hochspannungsgleichstromschalter, der ein 100 Jahre altes technisches Problem löst und den Weg für ein leicht zu verwaltendes DC-Netz ebnet. Mit jährlichen F&E-Investitionen in Höhe von 1,3 Mrd. USD und zahlreichen Forschungszentren rund um den Globus gehört ABB zu den innovativsten Unternehmen weltweit, die die digitale Transformation der Industrie vorantreiben.



02

—
01 Der ehemalige ABB-Verwaltungsratspräsident Hubertus von Grünberg trieb die Innovation im Unternehmen voran.

—
02 ABB-CEO Björn Rosengren, Preisträger Dr. Utsav Banerjee und Hubertus von Grünberg bei der Preisverleihung im Schweizerischen Baden.

—
03 Bisherige Preisträger des Hubertus von Grünberg Awards.

Preis würdigt herausragende Forschungsarbeiten von Postdoktoranden, insbesondere Arbeiten, die Software, Elektronik oder neue Werkstoffe auf kreative Weise nutzen, um den Weg für bahnbrechende industrielle Lösungen zu ebnet →03.

Der Preisträger 2022

Schon als Schüler war Utsav Banerjee fasziniert von den neuesten Entwicklungen in der Elektronik. Nach seinem Masterabschluss und der Promotion am Massachusetts Institute of Technology (MIT) ist er nun selbst dabei, die Grenzen der Technologie zu verschieben.

Als Assistenzprofessor am Indian Institute of Science im indischen Bengaluru befasst sich Dr. Banerjee mit Fragen der Sicherheit und des Datenschutzes im IoT. Sein Ziel ist es, die Lücke zwischen komplexen theoretischen Konzepten und praktischer Anwendung zu schließen, um effiziente Hardwarelösungen für ein sicheres Edge-Computing zu ermöglichen. Der Forschungsbereich beinhaltet komplexe Mathematik und die Entwicklung anspruchsvoller elektronischer Schaltungen, insbesondere für die Architekturen von Siliziumchips. Der Bereich gewinnt zunehmend an Bedeutung, da immer mehr Komponenten mit dem Internet verbunden sind und Daten über verschiedene Standorte hinweg austauschen.

Schnellere, bessere und leistungseffizientere Verschlüsselung

Bei der Verschlüsselung des Datenverkehrs zwischen vernetzten Geräten in der Prozess- und Automatisierungstechnik kommen komplexe Algorithmen zum Einsatz, die viel Rechenleistung erfordern. Ziel der Forschung von Dr. Banerjee ist es, die Verschlüsselung und Authentifizierung der Daten zu verbessern und zu beschleunigen und gleichzeitig die dafür benötigte Rechenleistung zu reduzieren.

Wegbereiter für andere Durchbrüche

Dr. Banerjees Forschung wird den Weg für weitere Fortschritte bei der Implementierung einer sicheren Datenverarbeitung ebnet. Es wird

erwartet, dass die Ergebnisse seiner Arbeit neue Durchbrüche auf dem Gebiet des Datenschutzes ermöglichen und uns dem Ziel einer starken, erschwinglichen und hocheffizienten Datensicherheit einen Schritt näher bringen werden.

„Wir hoffen, dass wir in der Lage sein werden, leistungsstarke, sparsame Hardware in winzige Geräte zu integrieren, und dass alle von diesen Geräten erfassten Daten verschlüsselt werden und dies auch bei der anschließenden Verarbei-

—
Es wird erwartet, dass die Ergebnisse neue Durchbrüche im Datenschutz ermöglichen.

—
tung in der Cloud bleiben“, erklärt Dr. Banerjee. „Dieser Preis wird mir dabei helfen, die Hardware-sicherheit und Hardwaresysteme zu erforschen, die verschlüsselte Daten verarbeiten können. Dies umfasst Software- und Hardwarekomponenten sowie spezielle Chipdesigns.“

Dr. Banerjee hat sich entschieden, seine Forschungen am Indian Institute of Science, dem führenden Institut des Landes, zu betreiben. „So bleibe ich bei meinen Wurzeln und habe die Möglichkeit, meiner Gesellschaft durch Forschung und Lehre etwas zurückzugeben.“

Die ABB Review wird sich in einer der kommenden Ausgaben ausführlicher mit Dr. Banerjees Arbeit befassen. •

BISHERIGE PREISTRÄGER

2019 ging der Preis an Ambuj Varshney von der Universität Uppsala in Schweden für seine Arbeit an nachhaltigen NES (Networked Embedded Systems). Er entwickelte ein Kommunikationssystem mit äußerst geringer Leistungsaufnahme und großer Reichweite (LoRea) für batterie-lose Sensoren, die geringe Energiemengen aus der Umgebung gewinnen. Diese können über Entfernungen von mehreren Kilometern kommunizieren und benötigen nur einige Mikrowatt [1].

2016 ging der Preis an Jef Beerten von der Universität Leuven in Belgien für seine Forschung zur Modellierung und Steuerung von Gleichstromnetzen.

03

Literaturhinweis

[1] R. Schoenrock: „Netzwerkforscher erhält Förderpreis“. ABB Review 2/2020, S. 40–41.

Erweitertes Wissen





Jeder Prozess ist mit Veränderungen verbunden. Erweitertes Echtzeitwissen schließt dabei die Lücke zwischen neuester Technologie und herausragenden Ergebnissen. ABB hilft Kunden dabei, dieses Wissen tagtäglich zu nutzen – in Verbindung mit Robotern, VR-Brillen, Fabrikprozessen und Systemen allgemein.



- 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



HIGH SPEED ALIGNMENT FÜR HOCHPRÄZISE MONTAGEAUFGABEN

Auf den Punkt

Mit der 2022 vorgestellten Software High Speed Alignment bietet ABB erstmalig Visual-Servoing-Technologie für 4- und 6-Achs-Roboter an. Dies ermöglicht eine Erhöhung der Genauigkeit um 50 Prozent und der Geschwindigkeit um 70 Prozent – ideal für die hochpräzise Elektronikfertigung.

Die Verkaufszahlen für Smartphones und andere Hightech-Geräte steigen, während jüngste Fortschritte in der Elektronik dafür sorgen, dass die Geräte immer kleiner und leistungsfähiger werden. Daher sind neue Automatisierungslösungen erforderlich, um ein schnelles und präzises Aufnehmen und Platzieren von Komponenten in der Elektronikfertigung zu ermöglichen [1]. Doch das ist leichter gesagt als getan. Bekanntermaßen gilt es, ein ausgewogenes Verhältnis zwi-

schen Präzision und Geschwindigkeit zu erzielen, um eine hohe Leistungsfähigkeit zu erreichen.

Die sechssachsigen Knickarmroboter von ABB sind für solche Automatisierungslösungen konzipiert. Sie sind in der Lage, komplexe Tätigkeiten und eine Vielzahl von präzisen Platzierungsaufgaben selbst unter beengten Platzverhältnissen flexibel auszuführen. Trotzdem fragten sich die Experten von ABB, ob es

—
01 Präsentation der 2022 vorgestellten bahnbrechenden High Speed Alignment Software von ABB.

—
02 Schematische Darstellung der traditionellen und der Visual-Servoing-Methode.

02a Bei der traditionellen Methode erfolgt die Datenverarbeitung vor der Roboterbewegung und bevor geprüft wird, ob der Roboter die korrekte Position erreicht hat. Wenn nicht, wird eine weitere Momentaufnahme gemacht und der Roboter wird erneut bewegt. Ist die richtige Position erreicht, geht der Roboter zur nächsten Aufgabe über.

02b Bei der neuen Visual-Servoing-Methode findet eine kontinuierliche Datenverarbeitung und Roboterführung einschließlich Prüfungen der Ausrichtung statt, bevor der Roboter mit der nächsten Aufgabe fortfährt.

möglich sei, die Präzision und Geschwindigkeit noch weiter zu verbessern. Das Ergebnis ist die Software High Speed Alignment mit Visual-Servoing-Technologie, die darauf ausgelegt ist, ein Plus an Präzision und Geschwindigkeit sicherzustellen und Zykluszeiten zu verkürzen →01.

Roboterausrichtung gestern, heute und morgen

Früher waren Roboter vorprogrammiert – bereit, auf Kommando Befehle auszuführen und in bestimmten Umgebungen zu arbeiten. Sowohl die Kalibrierung als auch die Inbetriebnahme erforderte ein hohes Maß an technischem Know-how. Die Ausrichtung erfolgte mithilfe eines iterativen Sichtwahlverfahrens („Look-then-Move“), bei dem der Roboter zwischendurch anhalten musste, damit das Bildverarbeitungssystem eine Momentaufnahme machen konnte. Erst dann wurden die Daten verarbeitet, und die erforderliche nächste Aktion konnte bestimmt und ausgeführt werden. Dieser Prozess wurde so häufig wie nötig wiederholt →02a.

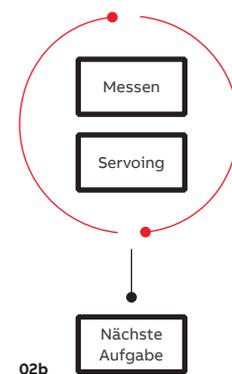
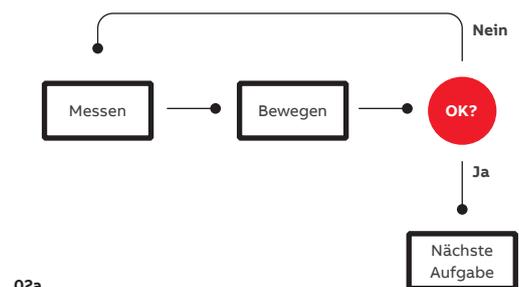
In jüngster Vergangenheit haben Paradigmenwechsel zu einem neuen Ansatz für die Roboterausrichtung geführt. Heutzutage sind die Systeme generell intelligenter und dank verschiedener Sensoren – insbesondere bildverarbeitender

während – oder sogar bevor – die nächste Feedback-Schleife verarbeitet wird. Das Ergebnis sind erheblich verkürzte Zykluszeiten für die Erfassung der Eingangsdaten, Verarbeitung der Daten und Ausführung der Aufgaben sowie eine höhere Robustheit des Robotersystems. Da eine schnelle Ausrichtung nun während des Betriebs möglich ist, kann die gewünschte hohe Präzision und Geschwindigkeit erreicht werden.

Schätzungen zufolge werden dank dieses Paradigmenwechsels bis zum Jahr 2025 über 30 Prozent aller neuen Roboter mit Vision-Sensoren ausgestattet sein. Dank dieser Sensoren werden Roboter nicht nur anspruchsvollere Aufgaben übernehmen können, die neuen visuellen Fähigkeiten machen Roboter auch leistungsfähiger. Die Kombination von Robotik mit maschinellem Sehen und künstlicher Intelligenz (KI) wird die Art und Weise, wie Roboter arbeiten und mit ihrer Umgebung interagieren, rapide verändern.

High Speed Alignment reduziert die Zykluszeiten bei gleichzeitiger Erhöhung der Genauigkeit.

Vision-Sensoren – in der Lage, Unsicherheiten und die Dynamik der Umgebungen, in denen die Roboter arbeiten, zu erfassen. Damit ist ein adaptiverer und wesentlich weniger deterministischer Ansatz möglich, der das Sensorfeedback in die Steuerung des Roboters einbindet →02b. Das heißt, die Erfassung der Sensoreingaben und die Verarbeitung der Daten erfolgen gleichzeitig. Da das Feedback zur gleichen Zeit an das Robotersystem gesendet wird, können Befehle nahezu augenblicklich ausgeführt werden. Durch Kombination dieser Echtzeitfähigkeit im Hinblick auf die Sensordaten mit integrierten intelligenten Algorithmen ist nun eine gleichzeitige Vorhersage möglich. Jede bevorstehende Roboterbewegung kann vorhergesagt werden, und Instruktionen können übermittelt werden,



—
**Diamond Dong
JiaFan Zhang**
ABB Robotics and
Discrete Automation
Research and Develop-
ment
Shanghai, China

diamond-daimeng.
dong@cn.abb.com
jiafan.zhang@
cn.abb.com

—
Xiaolong Feng
ABB Robotics and
Discrete Automation
Research and Develop-
ment
Västerås, Schweden

xiaolong.feng@
se.abb.com

—
**Qi Lu
York Qian**
ABB Robotics and
Discrete Automation
Shanghai, China

qi.lu@cn.abb.com
york-yingjie.qian@
cn.abb.com



03

Technologie- und geschäftsorientierte Entwicklung

Bisherige Forschungen zur schnellen Roboteranweisung konzentrierten sich vornehmlich auf die Verbesserung der Stabilität und der Robustheit der Robotersteuerung gegenüber Systemfehlern. In industriellen Anwendungen →03 müssen bei der Entwicklung neuer Produkte neben der Systemgenauigkeit und -stabilität allerdings auch die

—
Dank der Auto-Tuning-Funktion wird die Einrichtungszeit von einer ganzen Schicht auf eine Stunde verkürzt.

Kosten und die Effizienz berücksichtigt werden. Aus diesem Grund hat sich ABB reale Kundenfälle aus der Elektronikindustrie vorgenommen und die Herausforderungen unter die Lupe genommen, mit denen es Kunden tagtäglich an ihren Produktionslinien zu tun haben, um ein System zu entwickeln, das die Bedürfnisse der Branche erfüllt.

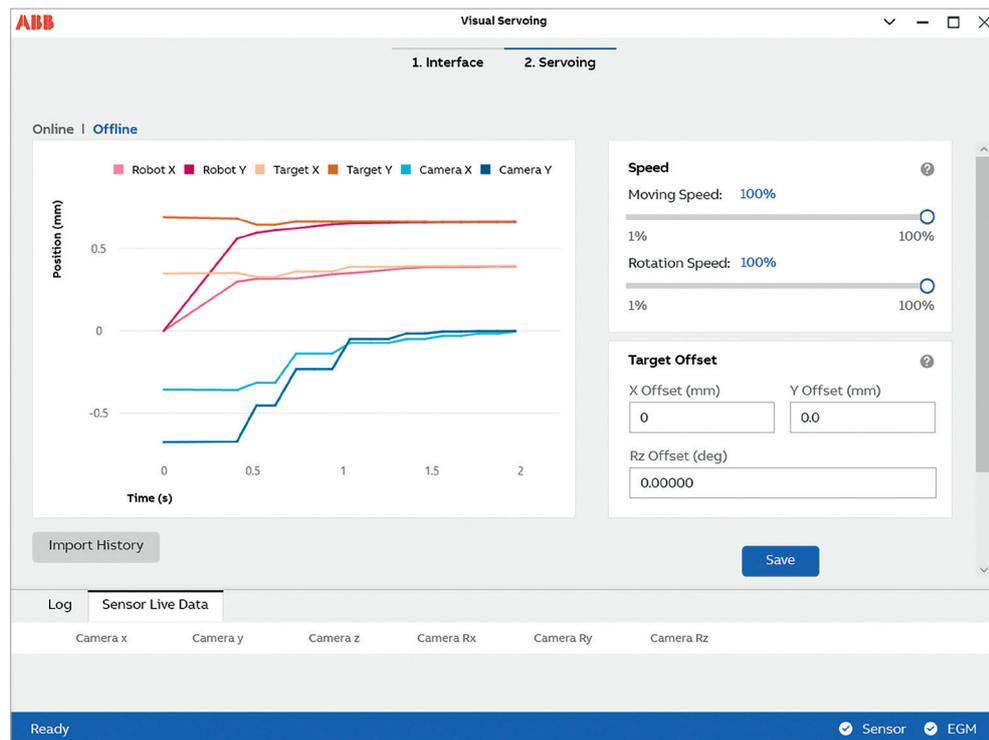
Durch Demonstrationen auf Robotikmessen und Inhouse-Vorfürungen auf der Basis realer Kundenfälle ist es ABB gelungen, die Technologieentwicklungsphase zu optimieren. Alles in allem bildete ein interaktiver Prozess zwischen fortlaufender Forschung und der Untersuchung von Geschäftsszenarien eine solide Basis für die Entwicklung. Das Ergebnis war schließlich ein technisch einsatzbereiter Prototyp. Somit konnte der erforderliche Forschungs- und Entwicklungsaufwand in der Produktisierungsphase erheblich reduziert werden. Zudem konnte sich ABB dank erfolgreichen Pilotversuchen bei Kunden und parallel zum Entwicklungsprojekt durchgeführten Validierungsstudien schon vor der offiziellen Produkteinführung Bestellungen für die Software sichern.

Schnellere Produktion und hohe Präzision

Die für hochpräzise Montageaufgaben entwickelte und in Kundenanlagen erfolgreich getestete Softwarelösung erhöht nicht nur die Systemzuverlässigkeit, sondern reduziert auch die durchschnittliche Zykluszeit um 70 Prozent von ~5,6 s auf ~1,7 s bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Genauigkeit um 50 Prozent von 20 µ auf 10 µ.

03 ABB High Speed Alignment ist kompatibel mit den ABB-Industrierobotern IRB 1100 und IRB 120.

04 Mit der benutzerfreundlichen Auto-Tuning-Funktion kann das System auf Genauigkeit oder Geschwindigkeit abgestimmt werden.



04

Doch wie gelingt es High Speed Alignment, solch phänomenale Ergebnisse zu erzielen? Die Antwort liefert ein Vergleich zwischen dem traditionellen Sichtwahlverfahren und der neuen Technologie von ABB →05–06: Beim traditionellen Ansatz sind die Zykluszeiten abhängig von der Anzahl der Schleifen, die das Sensorsystem durchlaufen muss, um die gewünschten Objekte zu erkennen. Dabei dauert eine einzige Schleife etwa zwei Sekunden →05. Bei der Frage, wie viele Zyklen notwendig sind, ist allerdings auch etwas Glück im Spiel. Mit High Speed Alignment hingegen erfolgt der Erkennungsvorgang kontinuierlich, unabhängig davon, ob die vorherige Roboterbewegung beendet ist oder nicht. Und durch die gleichzeitige Fusion der vom Sensor erfassten Daten mit den Feedback-Daten des Roboters kann die Zielbewegung des Roboters in nur 4 ms aktualisiert werden. Das bedeutet eine wesentlich größere Streuung der Eingabewerte und dass das System nicht auf die Beendigung vollständiger Zyklen warten muss →06.

Komplexität des Systems

Es wurden Tests sowohl mit dem Sichtwahlverfahren als auch mit High Speed Alignment in einer einfachen Systemanordnung mit einem bzw. zwei Vision-Sensoren durchgeführt. Um zu sehen, ob die Zykluszeiten anders ausfallen, wenn sich die Komplexität des Systems erhöht, wurden zwei weitere Sensoren hinzugefügt. Beim Sichtwahlverfahren muss das System bei

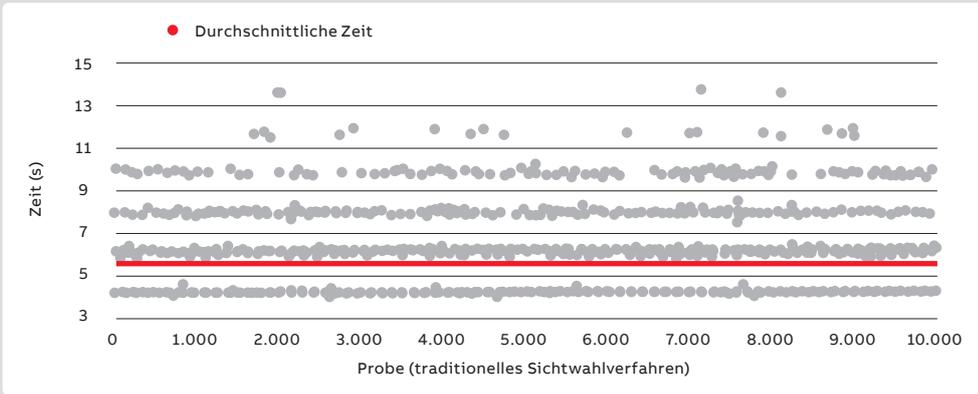
jeder Fehlausrichtung den gesamten Zyklus erneut durchlaufen, was die Zykluszeiten deutlich verlängert. Außerdem steigt die Möglichkeit eines Systemfehlers, bevor die richtige Ausrichtung erreicht ist – ein klarer Nachteil. Bei der Visual-Servoing-Technologie hingegen werden die Ausrichtzyklen durch eine Erhöhung der Komplexität nicht beeinflusst, da alle Bereiche gleichzeitig korrigiert werden. Mit anderen Worten, die Zykluszeiten bleiben unverändert. Somit ermöglicht das ABB High Speed Alignment

Die Software wurde ursprünglich für die Computer-, Kommunikations- und Elektronikindustrie entwickelt.

System mit Visual-Servoing-Technologie – unter Verwendung eines einfachen Vision-Sensor-Systems – Roboterbewegungen mit einer Präzision im 10er- μ -Bereich bei einer gleichzeitigen signifikanten Erhöhung der Geschwindigkeit.

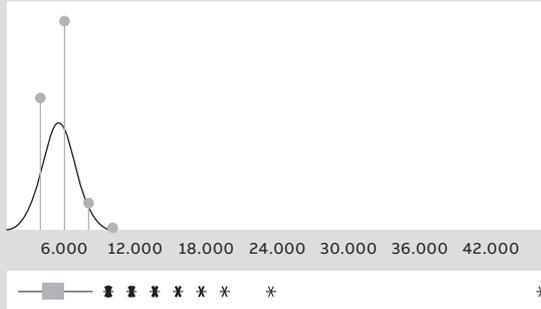
Benutzerfreundlichkeit

Die benutzerfreundliche Software wurde mit dem Wissen entwickelt, dass sich durch Verzicht entweder auf Präzision oder Geschwindigkeit



ROBOTER	IRB120
Versuche	10.000
Erfolg	9.994
Erfolg %	99,94 %
Misserfolg	6
Misserfolg %	0,06 %
Durchschn. Zeit (ms)	5.603
Min. Zeit (ms)	2.211
Max. Zeit (ms)	13.845

Q1 = 4.158
 Median = 6.005
 Q3 = 6.091
 IQ-Abst. = 1.933
 Whisker:
 2.211,8476
 N = 10.000



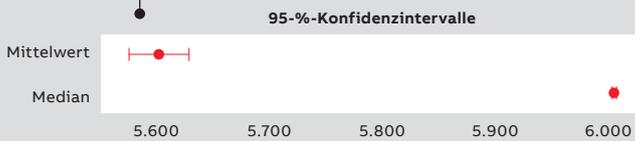
Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung
 A-Quadrat 817,47
 p-Wert <0,005

Mittelwert	5.602,9
Std.Abw.	1.378,5
Varianz	1.900.226,6
Schiefe	3,9763
Kurtosis	82,8112
N	10.000
Minimum	2.211,0
1. Quartil	4.158,0
Median	6.005,0
3. Quartil	6.091,0
Maximum	45.991,0

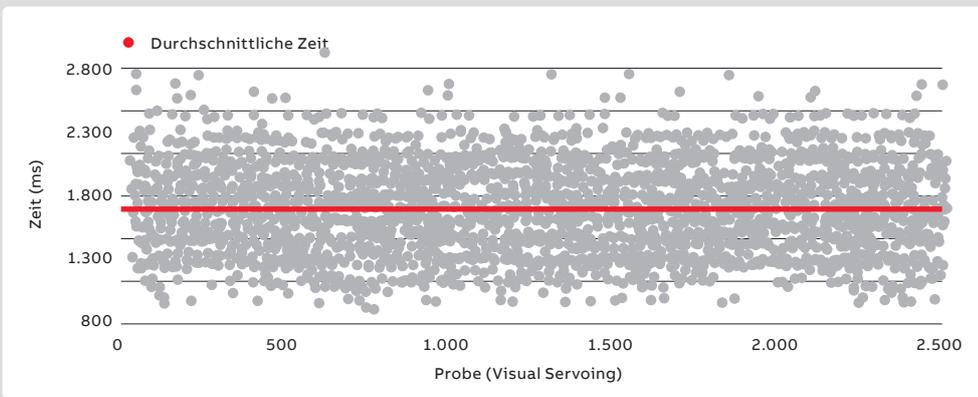
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert
 5.575,8 5.629,9

95%-Konfidenzintervall für Median
 6.004,0 6.007,0

95%-Konfidenzintervall für Std.Abw.
 1.359,6 1.397,9

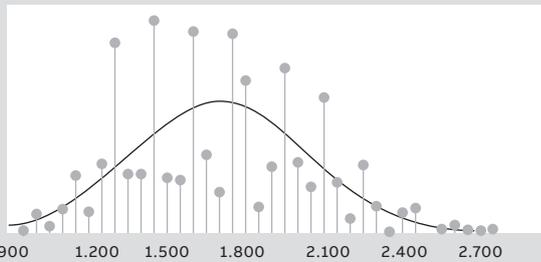


05



ROBOTER	IRB1100
Versuche	2.500
Erfolg	2.500
Erfolg %	100 %
Misserfolg	0
Misserfolg %	0 %
Durchschn. Zeit (ms)	1.698
Min. Zeit (ms)	932
Max. Zeit (ms)	2.910

Q1 = 1.455
 Median = 1.693,5
 Q3 = 1.944
 IQ-Abst. = 489
 Whisker:
 932,2669
 N = 2.500



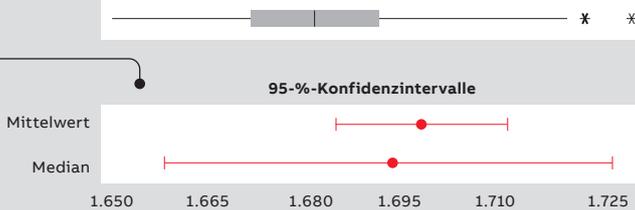
Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung
 A-Quadrat 9,51
 p-Wert <0,005

Mittelwert	1.697,9
Std.Abw.	339,6
Varianz	115.359,5
Schiefe	0,240467
Kurtosis	-0,412036
N	2.500
Minimum	932,0
1. Quartil	1.455,0
Median	1.693,5
3. Quartil	1.944,0
Maximum	2.910,0

95%-Konfidenzintervall für Mittelwert
 1.684,6 1.711,3

95%-Konfidenzintervall für Median
 1.658,0 1.727,5

95%-Konfidenzintervall für Std.Abw.
 330,5 349,3



06

— 05 Testergebnisse für die traditionelle Methode mit einem statischen Ziel und einer Genauigkeit von 0,02 mm. Oben: Darstellung der Ausrichtzeit für 10.000 Zyklen mit einem Durchschnitt von 5,6 s. Unten: Das 95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert liegt zwischen 5,58 s und 5,63 s.

— 06 Testergebnisse für die Visual-Servoing-Methode mit einem statischen Ziel und einer Genauigkeit von 0,01 mm. Oben: Darstellung der Ausrichtzeit für 2.500 Zyklen mit einem Durchschnitt von 1,7 s. Unten: Das 95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert liegt zwischen 1,68 s und 1,71 s.

— 07 Schematische Darstellung des Projektumfangs für die Visual-Servoing-Technologie von ABB.

die jeweils andere Größe noch weiter verbessern lässt. Durch einfaches Abstimmen des Systems auf Genauigkeit oder Geschwindigkeit kann die

ABB hat sich die täglichen Herausforderungen von Kunden an ihren Produktionslinien angesehen.

Konvergenzzeit der Roboterausrichtung bzw. die Zykluszeit modifiziert werden →04. Dank der benutzerfreundlichen Software und der intuitiven Benutzeroberfläche sind zur Bedienung des Systems nur minimale Fachkenntnisse erforderlich.

High Speed Alignment ist zudem auf eine einfache Inbetriebnahme und Anpassung ausgelegt, sodass auch unerfahrene Nutzerinnen und Nutzer das System bedienen können. Die kamerageführte Bewegungssteuerung – eine Kombination aus maschinellem Sehen und präziser Bewegungssteuerung, die die Kerntechnologie hinter High Speed Alignment bildet – erhöht die Flexibilität des Ausrichtungsvorgangs. Bislang war die Implementierung einer Hochleistungssteuerung mit einem enormen Aufwand (Expertise) zur

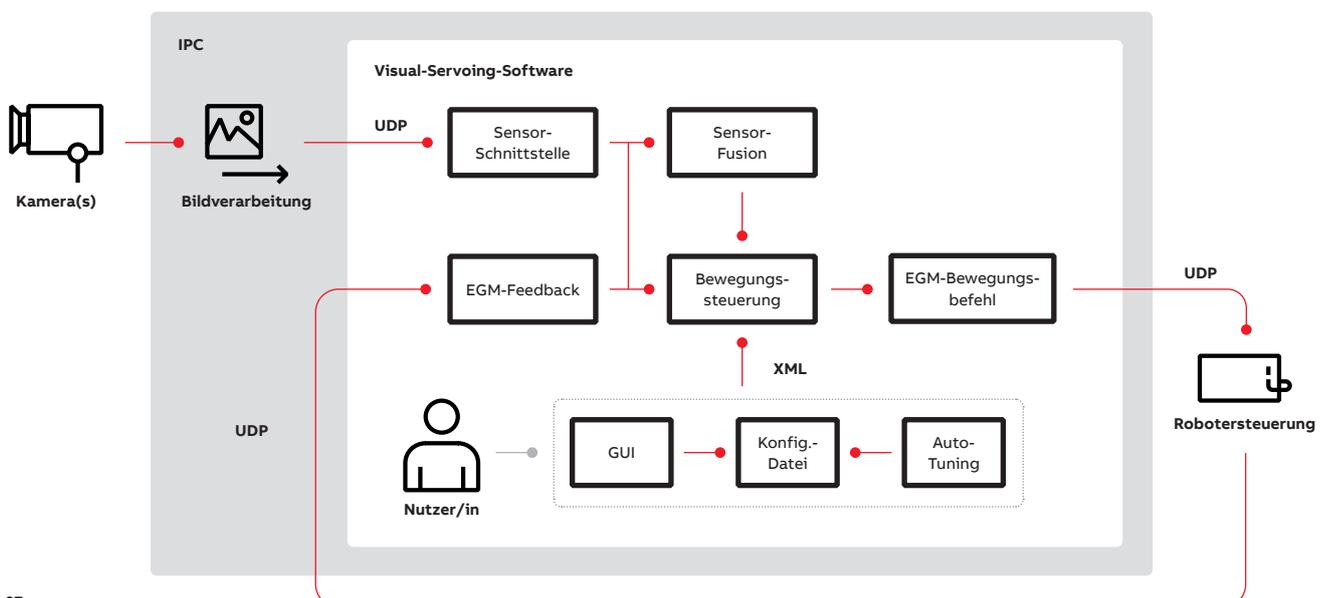
Abstimmung der Steuerparameter und daher mit hohen Kosten verbunden. Dank High Speed Alignment ist dies nun nicht mehr der Fall.

Aus den genannten Gründen hat ABB eine Auto-Tuning-Funktion in das System integriert. Im Gegensatz zu traditionellen Systemen, bei denen die Zeitverzögerung von Sensoren, Filter-Pufferlänge, Regelverstärkung, Verzögerung des Roboters, Totzonen usw. berücksichtigt werden mussten, ist mit der ABB-Lösung eine automatische Berechnung dieser Parameter möglich. Nutzerinnen und Nutzer müssen lediglich die entsprechenden Regler verschieben und das Ergebnis beobachten. Dies senkt die Hürden bei der Interaktion mit dem System und vereinfacht das Erreichen der gewünschten Ergebnisse. Dank der Auto-Tuning-Funktion wird die Einrichtungszeit von einer ganzen Schicht auf lediglich eine Stunde verkürzt.

Darüber hinaus bietet das System von ABB die Möglichkeit, zuvor aufgezeichnete Servoing-Daten beim Tuning neuer Parameter zum Vergleich heranzuziehen. Eine solche Funktionalität unterstützt Experten ebenso wie Neulinge bei ihrer Arbeit und hilft, Kosten zu sparen.

Erweiterte Kompatibilität

Zurzeit ist High Speed Alignment mit einer breiten Palette von Kameras sowie den Roboter-



50 Jahre

Erfahrung in der Entwicklung von Robotersoftware

10µ – 20µ

Genauigkeit für hochpräzise Aufgaben in der Elektronikfertigung



70%

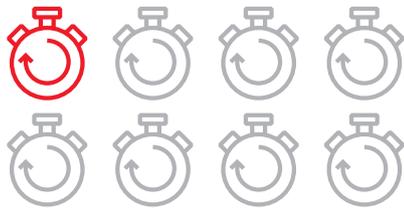
höhere Geschwindigkeit beim Einsatz von 6-Achs-Robotern für Positionierungsaufgaben



Einfach zu bedienende Software und intuitive Benutzeroberfläche, Bedienung des Systems erfordert minimale Kenntnisse

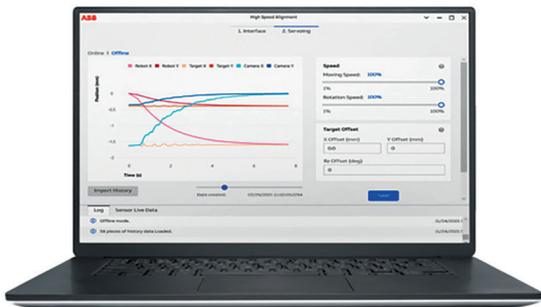


Hohe Flexibilität durch Kompatibilität mit einer Vielzahl von Kameras und den Robotersteuerungen IRC5 und OmniCore



8 → 1 Stunde

Verkürzung der Einrichtungszeit durch einfache Inbetriebnahme mit automatischer Kalibrierung und Abstimmung



steuerungen vom Typ IRC5 und OmniCore™ kompatibel. Obwohl das System von der verwendeten Hardware und dem verwendeten Bildverarbeitungstool unabhängig ist, spielt die Art des verwendeten Kommunikationsprotokolls eine wichtige Rolle. Die Lösung unterstützt jeden Sensor, wenn die Daten im richtigen Format

Die Software nutzt Visual-Servoing-Technologie, Kameras und ein Computer-Vision-System zur Steuerung der Roboterposition.

über einen UDP-Kanal (User Datagram Protocol) an den Client übertragen werden →07. Trotzdem gibt es Pläne, in naher Zukunft auch eine Kommunikation über TCP (Transmission Control Protocol) zu ermöglichen.

Das komplette System besteht aus einem Sensor (in diesem Fall einer Kamera), einer Robotersteuerung, einem Bildprozessor und der Visual-Servoing-Technologie →07. Letztere und der Bildprozessor befinden sich auf einem Industrie-PC (IPC). Die Kamera befindet sich am Endeffektor eines Roboters und erfasst optische Informationen im Aufgabenraum. Der daraus resultierende Bildstrom wird von der Bildverarbeitung empfangen, die die Position des Zielobjekts relativ zur Kamera berechnet. Die Robotersteuerung vom Typ IRC5 (oder OmniCore™) steuert den Roboter und stellt eine EGM-Schnittstelle (External Guided Motion) zur Kommunikation mit der Visual-Servoing-Software per UDP-Datagramm bereit. Die Visual-Servoing-Software erfasst Daten vom EGM und vom Bildprozessor und generiert Bewegungsbefehle, die per UDP an die IRC5 übermittelt werden. Durch Rückführung der Roboterinformationen von der EGM-Schnittstelle kann die Leistungsfähigkeit der Visual-Servoing-Steuerung auf einem optimalen Niveau gehalten werden [2].

Neue Möglichkeiten

Die ABB High Speed Alignment Software wurde ursprünglich für hochpräzise Aufgaben in der Computer-, Kommunikations- und Elektronikindustrie, zum Beispiel zur Montage von elektronischen Bauteilen, zum Ausrichten von Komponenten, zum Einsetzen von Werkstücken in ein Werkzeug oder zum Einsetzen von Teilen

—
08 Hauptvorteile von ABB High Speed Alignment mit Visual-Servoing-Technologie.

—
09 Mithilfe einer oder mehrerer Kameras und eines Computer-Vision-Systems zur Steuerung des Roboterwerkzeugs relativ zum Werkstück erreicht High Speed Alignment eine phänomenale Präzision.



Literaturhinweise

[1] ABB: „ABB launches breakthrough robot alignment software increasing electronics manufacturing speed and accuracy“. ABB Pressemitteilung, 12.04.2022. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/89415/prsr-abb-launches-breakthrough-robot-alignment-software-increasing-electronics-manufacturing-speed-and-accuracy> (abgerufen am 17.09.2022).

[2] Y. Mao et al.: „Visual-Servoing Control Based on EGM Interface of an ABB Robot“. IEEE Publication, Chinese Automation Conference, 2018. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8623638> (abgerufen am 14.03.2023).

09

in eine Halterung, entwickelt. Weitere mögliche Anwendungen sind:

- Pickaufgaben für Flaschen, z. B. in Brauereien unter Verwendung von CSSR-Algorithmen (Causal State Splitting Reconstruction)
- Kleben, Dichten, Reifenmontage und Rührreibschweißen in der Automobilindustrie
- Sitzmontage bei Tier-1-Zulieferern, Teilelieferanten oder Dienstleistern von Erstausrüstern (OEMs)

Mit High Speed Alignment bietet ABB erstmalig Visual-Servoing-Technologie für 4- und 6-Achs-Roboter für hochpräzise Montageaufgaben an →08. Mithilfe eines oder mehrerer Vision-Sensoren und eines Computer-Vision-Systems zur Steuerung der Position des Roboterwerkzeugs

—
Mit High Speed Alignment bietet ABB erstmalig Visual-Servoing-Technologie für 6-Achs-Roboter an.

relativ zum Werkstück ist die Technologie in der Lage, die Forderung der Industrie nach höherer Präzision und Geschwindigkeit zu erfüllen →08–09. High Speed Alignment ermöglicht Roboterbewegungen mit einer Präzision im 10er- μ -Bereich für die Elektronikmontage und erfüllt gleichzeitig die Anforderungen der Branche in puncto Kosten und Effizienz. •

SOFTWARE FÜR EINE OPTIMALE ROBOTERPERFORMANCE

Bewegungs- optimierung

Ein beträchtlicher Teil der Investitionen von Unternehmen in die Automatisierung fließt in die Integration und Programmierung von Robotern. Aus diesem Grund bietet ABB mit RobotStudio® [1,2], dem weltweit meistgenutzten Offline-Programmier- und -Simulationstool für Roboter, eine Software, mit der ganze Produktionszellen in einer virtuellen Umgebung entworfen, getestet und optimiert werden können, was die Programmierung und Bedienung von Robotern drastisch vereinfacht. Mit der neuesten Erweiterung RobotStudio Cloud können Personen und Teams standortunabhängig und in Echtzeit am Entwurf von Roboterzellen zusammenarbeiten [3].



Magnus Seger
Simulation Software
Göteborg, Schweden

magnus.seger@
se.abb.com

Kisten stapeln sich, der Platz ist eng, die Zeit ist knapp. Wäre es nicht schön, Roboter zu haben, denen man einfach sagen kann, was sie tun sollen – ohne Wenn und Aber? Auch wenn die Inbetriebnahme und die Übertragung von neuen Aufgaben an Roboter alles andere als einfach ist, bietet die Desktop-Version von RobotStudio die Möglichkeit, die Programmierung und Simulation offline durchzuführen, ohne die laufende Produktion zu stören. Darüber hinaus ermöglicht die kostenlose RobotStudio AR (Augmented Reality) Viewer App [4] die Visualisierung von Robotern und Lösungen in einer realen Umgebung bzw. in einem virtuellen Raum mithilfe eines Smartphones oder Tablets. Außerdem stehen Softwareprogramme und Anwendungen zur Verfügung, die schnellere Entscheidungen bei der Arbeit in Teams und eine Beschleunigung der Design- und Inbetriebnahmephase ermöglichen.

Die Offline-Programmierung und -Visualisierung sind ein idealer Weg, um die Kapitalrendite für Robotersysteme zu maximieren, denn sie reduzieren Risiken und Fehler und verhindern gleichzeitig Stillstandzeiten, da die Programmierung außerhalb der Produktionsumgebung stattfindet. ABB RobotStudio wird

von Unternehmen in verschiedensten Branchen eingesetzt und bietet vielfältige Möglichkeiten zur Programmierung, zur Planung und zum Testen von Robotern in einer virtuellen Umgebung. Es folgen zehn Beispiele für Funktionen, die dabei helfen können, die Leistungsfähigkeit von Kundenanlagen zu verbessern [5] und die Produktion zu steigern.

Kabelsimulation

Die Auslegung von Roboterkabeln und Schlauchpaketen (Dress Packs) kann eine ziemliche Herausforderung darstellen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die mit Industrierobotern verbundenen Kabel starkem Verschleiß ausgesetzt sein können, was das Risiko von Kollisionen erhöht. Aus diesem Grund bietet RobotStudio eine Funktion zur Kabelsimulation, die es Ingenieuren ermöglicht, die Bewegungen von Robotern und deren Kabeln vor der Implementierung zu visualisieren →01 und somit die Kollisionsgefahr zu reduzieren und die Lebensdauer der Kabel zu verlängern.



Hubvolumen

Festzustellen, welchen Raum ein Roboter benötigt, um eine Tätigkeit auszuführen, kann knifflig sein. Folglich lässt sich auch schwer vorhersagen, wie mehrere Roboter auf beengtem Raum eingesetzt werden können und wo Zäune und andere Begrenzungen errichtet werden müssen, wenn Menschen und Roboter zusammenarbeiten sollen. RobotStudio ist in der Lage, das Hubvolumen eines Roboters und seiner Werkzeuge für die programmierte Bewegung automatisch und präzise zu berechnen. Dies kann dabei helfen, genaue Empfehlungen zur Platzierung von Zäunen und Sicherheitszonen zu liefern und Zusammenstöße, Störungen und potenzielle Unfälle bei der eigentlichen Produktion zu verhindern.

Signalanalyse

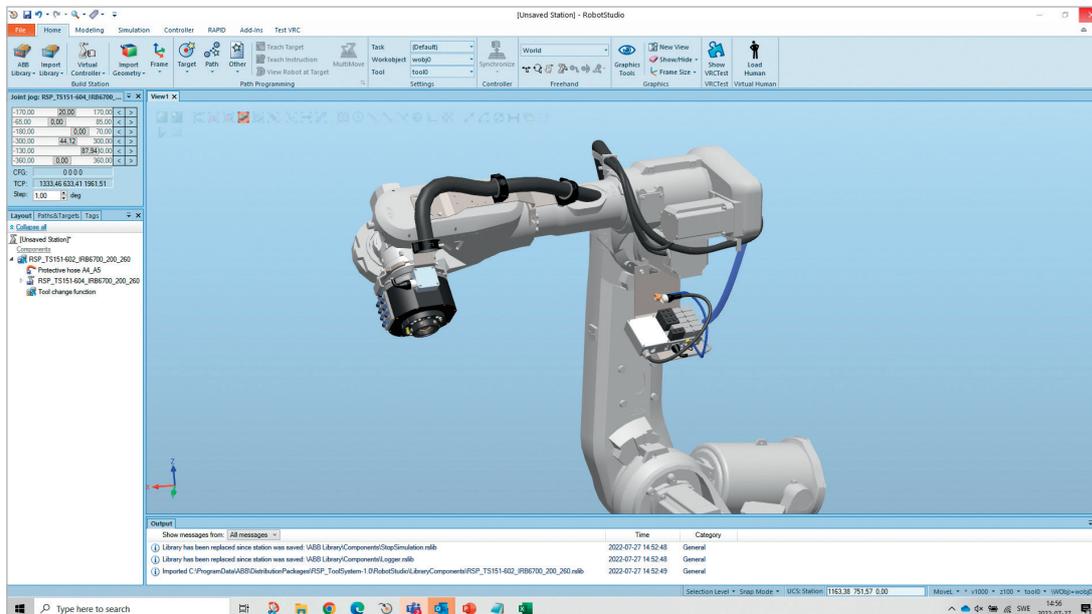
Wenn es darum geht, Bewegungs- und E/A-Signale von einer Robotersteuerung abzurufen, zu visualisieren und zu prüfen, müssen diese Signale in der richtigen Reihenfolge ankommen. Außerdem müssen sie über den richtigen Zeitstempel

verfügen, damit beim Anpassen und Optimieren des Roboterprogramms mithilfe von Daten von realen und virtuellen Steuerungen die notwendige Präzision garantiert werden kann.

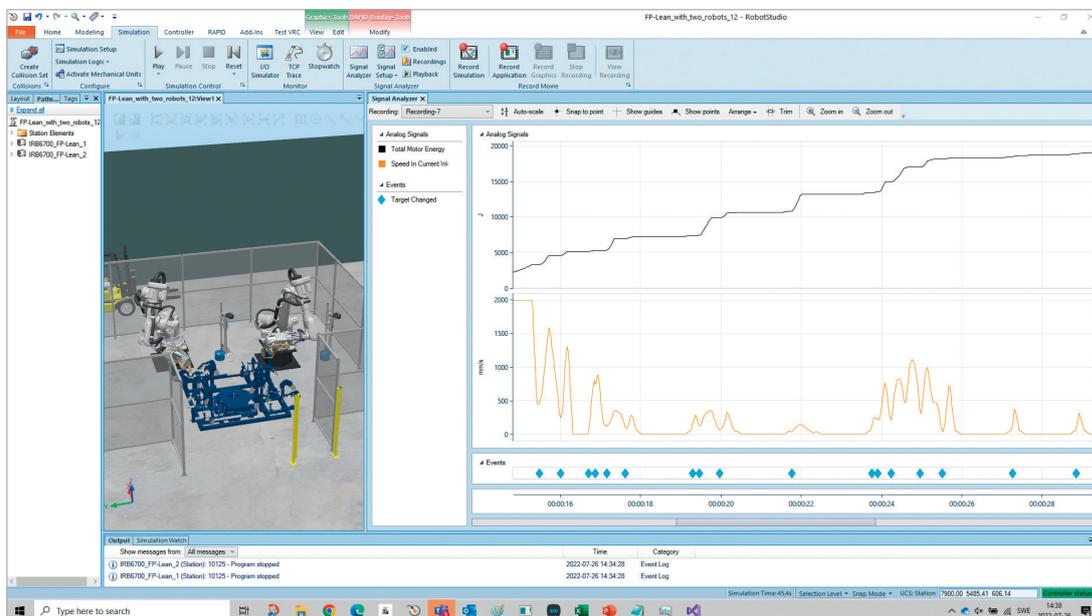
Diese Daten werden sowohl von der realen als auch der virtuellen Robotersteuerung benötigt, um festzustellen, warum ein Roboter eine

RobotStudio kann das Hubvolumen eines Roboters und seiner Werkzeuge automatisch und präzise berechnen.

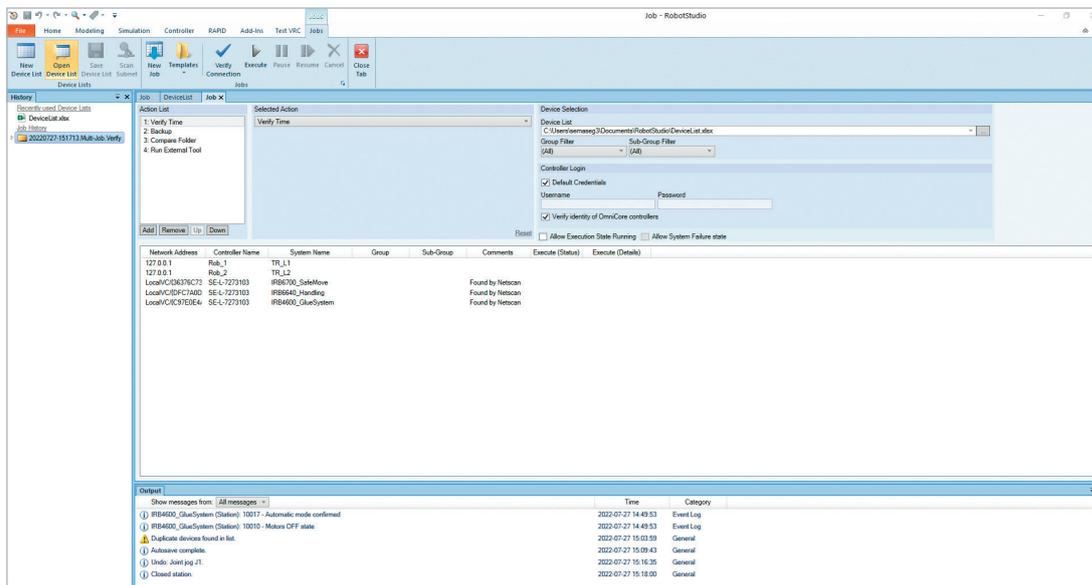
programmierte Geschwindigkeit nicht erreichen kann oder wie sich leichte Anpassungen oder Geschwindigkeitsabfälle auf die Qualität auswirken. Auch die Analyse des Energieverbrauchs und der Energieeffizienz während eines Zyklus sowie



01



02



03

—
01 Die Kabelsimulation reduziert die Kollisionsgefahr und hilft dabei, die Lebensdauer der Kabel zu verlängern.

—
02 Die Signalanalyse ermöglicht die Aufzeichnung und Darstellung aller Signale von der Robotersteuerung in einer Ansicht.

—
03 Die Aufträge-Funktion erlaubt die gleichzeitige Ausführung bestimmter Aktionen für mehrere Robotersteuerungen innerhalb einer Fabrik.

der Auswirkungen bestimmter Variablen auf den Energiebedarf wird für Nutzer immer wichtiger.

Mithilfe der Signalanalyse von RobotStudio →02 können alle Signale von einer (realen oder virtuellen) Robotersteuerung aufgezeichnet und in einer Ansicht dargestellt werden. Das Dashboard ermöglicht eine einfache Optimierung und Anpassung von Parametern. Aufgezeichnet werden können unter anderem Robotergeschwindigkeit, Stromverbräuche, E/A-Signale, Werkzeugarbeitspunkte (Tool Center Points, TCPs) und Achsenwerte. Mithilfe der Funktion „Go to“ (Programm oder Visualisierung) können Probleme im Programm mit nur einem Klick identifiziert werden.

CAD-basierte Bahngenerierung (CAD-to-Path)

Den Roboter mithilfe eines Handgeräts und eines Joysticks im Produktionsbereich zur richtigen Position zu bewegen, um ein Programm zu erstellen, ist äußerst kompliziert und zeitaufwändig. Normalerweise erfordert dies einen Stopp der laufenden Produktion und führt zu suboptimalen

—
Mit der Autokonfigurationsfunktion lässt sich automatisch eine optimierte Roboterarmkonfiguration definieren.

Positionen. Mithilfe eines CAD-Modells (z. B. eines Werkstücks) hingegen können die Positionen eines Roboters am Rand einer Form automatisch generiert werden.

In wenigen Sekunden werden so perfekt ausgerichtete Positionen entlang der Kante bestimmt, was sonst online nur mühsam durch schrittweises Bewegen des Roboters (Jogging) und speichern der Positionen möglich ist. Die Autokonfigurationsfunktion von RobotStudio bietet die Möglichkeit, mit nur einem Klick automatisch eine optimierte Roboterarmkonfiguration für die gesamte Bahn zu definieren.

Aufträge

Eine ganze Roboterflotte in sich konsistent und auf dem neuesten Stand zu halten, ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Traditionell muss jede Roboterinstallation manuell aktualisiert und validiert werden, was äußerst zeitaufwändig ist. In der Inbetriebnahmephase kann es sein, dass mehrere Updates und Änderungen gleichzeitig erfolgen. Dies macht es nahezu unmöglich, einen Überblick zu behalten, welche Roboter bereits installiert und einsatzbereit sind.

Die Aufträge-Funktion von RobotStudio →03 erlaubt die gleichzeitige Ausführung bestimmter Aktionen für mehrere Robotersteuerungen innerhalb einer Fabrik. Dazu müssen die Steuerungen einfach an das Fabriknetzwerk angeschlossen werden. Es können verschiedene Aktionen ausgeführt werden, darunter Backups, Synchronisieren der Zeit für jeden Roboter, Lesen von RAPID-Daten, Aktualisieren von Benutzerrechten, Abrufen von Systemdaten und Übermitteln von Daten zur weiteren Analyse an Programme wie Excel.

Automatische Bahnplanung

In einer beengten Roboterzelle mit vielen Komponenten kann es sehr kompliziert und zeitaufwändig sein, jede einzelne Roboterbewegung unter Berücksichtigung aller möglichen Hindernisse auf sämtlichen Bewegungsbahnen festzulegen.

Mit der automatischen Bahnplanungsfunktion von RobotStudio →04 brauchen nicht alle Schritte bis zur gewünschten Endposition programmiert zu werden. Stattdessen muss lediglich die Endposition angegeben werden, und der Roboter folgt flink einer Bahn, bei der automatisch alle auf der Bewegungsbahn liegenden Hindernisse umgangen werden. Die Funktion sichert also binnen Sekunden eine durchgängige kollisionsfreie Bahn, was die Engineering-Phase beschleunigt und die Markteinführungszeit verkürzt.

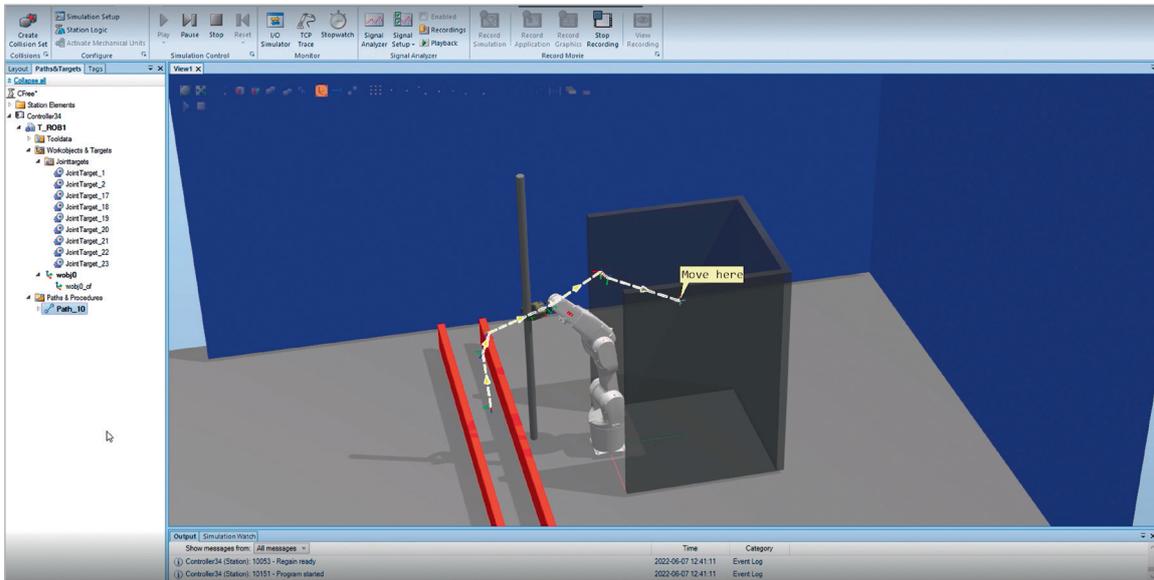
Bearbeitung und Debugging von RAPID-Code

Das Erstellen von Roboterprogrammen mithilfe eines Handbediengeräts (Teach Pendant) ist nicht ideal und normalerweise mit Stillstandzeiten verbunden. Zwar kann dies auf einem PC oder einem Drittanbieter-Simulationstool durchgeführt werden, das den Robotercode emuliert, doch dabei steht weder immer ausreichend Kontext zur Verfügung noch ermöglicht es das Testen und die Beseitigung von Fehlern im Programm (Debugging).

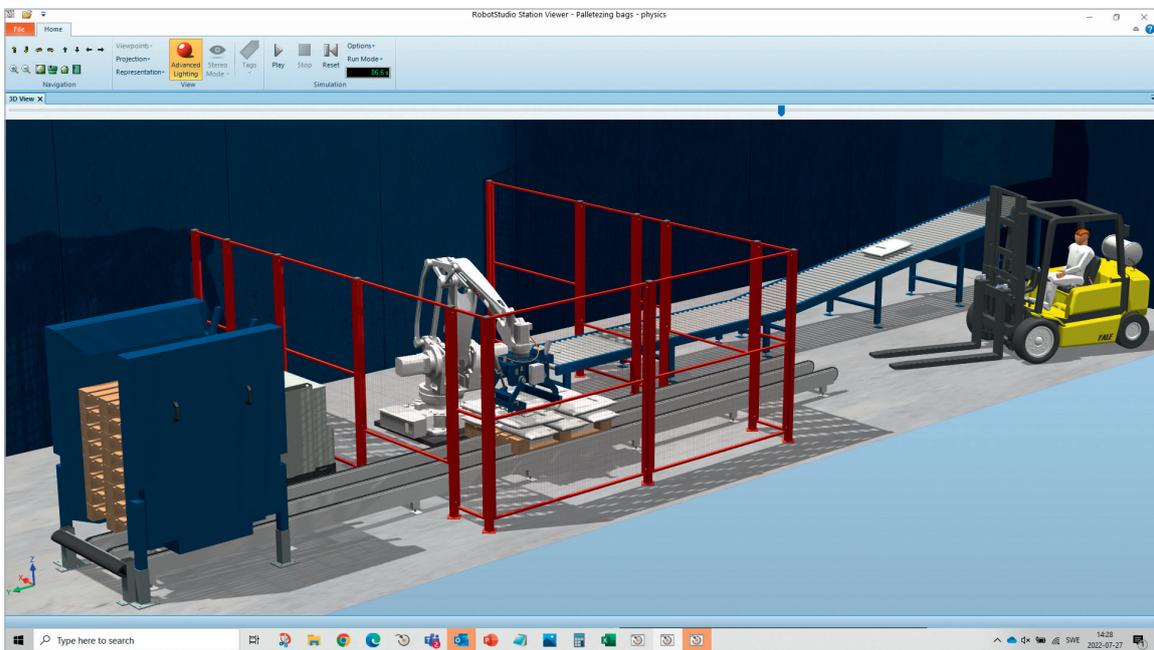
Mit dem Texteditor von RobotStudio können Programme, die in einen Roboter geladen werden, angezeigt und entweder live oder virtuell bearbeitet werden. Der Editor bietet Funktionen wie Syntax- und Fehlerhervorhebung, Tooltips, automatisches Einfügen von Argumenten und kontextbezogene Hilfe für Roboterinstruktionen. Außerdem steht ein Dateneditor zur tabellarischen Bearbeitung der Programmdateien zur Verfügung. Zum Debugging des Programms können Unterbrechungspunkte gesetzt und verschiedene Variablen überwacht werden.

Stationsbetrachter

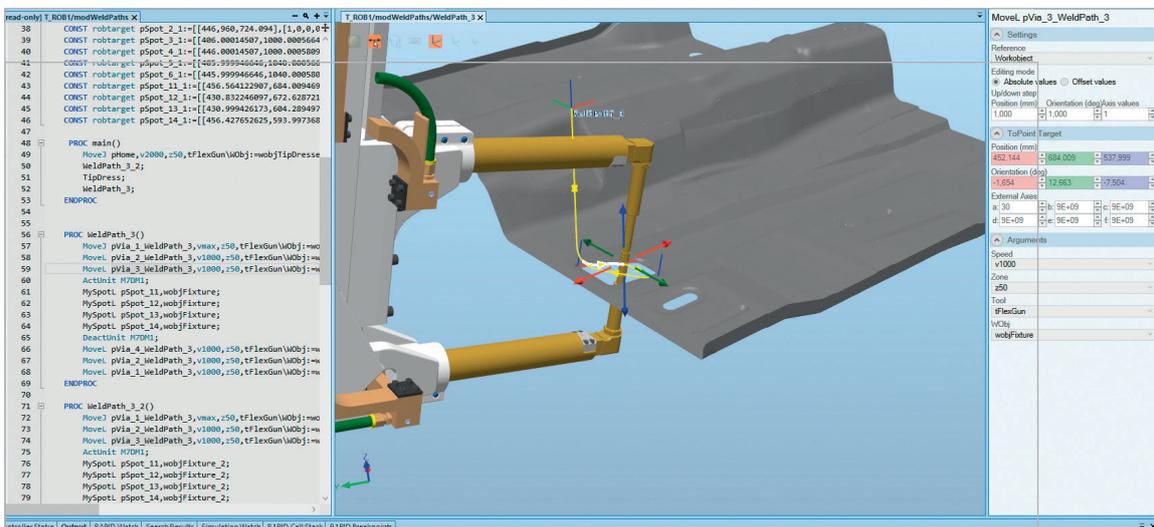
In der Erkundungs- und Planungsphase ist es wichtig, dass der Lieferant in der Lage ist, die vorgeschlagene Lösung zu erläutern und zu kommunizieren, damit Kunde und Lieferant sich verstehen und eine effektive Kooperation



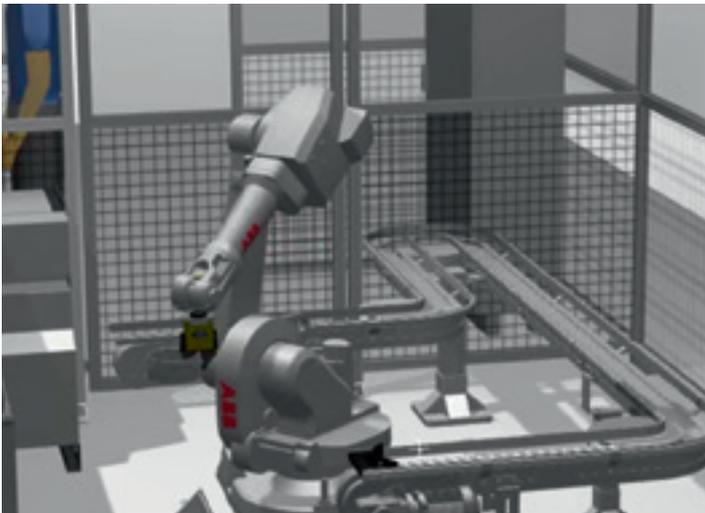
04



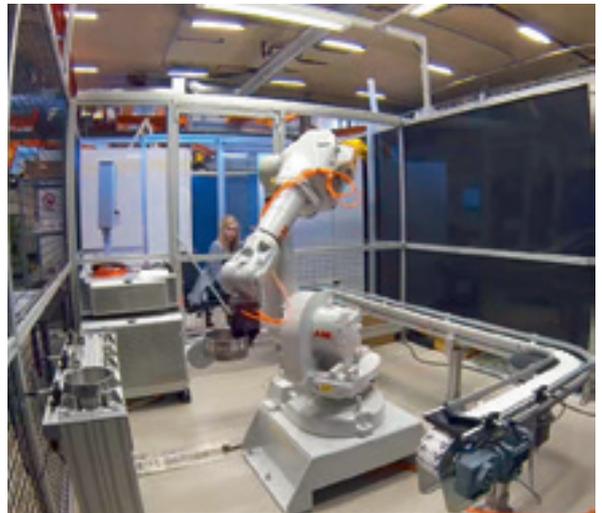
05



06



07a



07b

— 04 Bei der automatischen Bahnplanung folgt ein Roboter automatisch einer Bahn, bei der alle auf der Bewegungsbahn liegenden Hindernisse umgangen werden.

— 05 Der Stationsbetrachter ist ein interaktives 3D-Filmpaket zur Wiedergabe und zum Teilen von RobotStudio-Simulationen mit Nutzern, die die Software nicht installiert haben.

— 06 Die 3D-Ansichten des Bahneditors ermöglichen die Bearbeitung einzelner oder mehrerer Positionen gleichzeitig.

— 07 Die virtuelle Robotersteuerung ist eine exakte Kopie der realen Software, die den Roboter in der Produktionsumgebung steuert.

07a Simulierte Produktionsumgebung.

07b Reale Produktionsumgebung.

und Kollaboration gewährleistet ist. Dazu wird traditionell eine Vielzahl von Dokumenten ausgetauscht, die nicht immer leicht zu deuten und zu verstehen sind. Dies führt häufig zu Projektverzögerungen und Missverständnissen im Team.

Der Stationsbetrachter →05 ist ein interaktives 3D-Filmpaket, mit dem eine RobotStudio-Simulation mit Nutzern geteilt werden kann, die die Software nicht installiert haben. Das Paket ermöglicht realistische grafische Darstellungen von Roboterstationen mit allen Werkzeugen, Bewegungen und Durchsätzen, um ein besseres Verständnis von Vorschlägen und Anpassungen zu ermöglichen. Außerdem können Projekte durch einfaches Anschließen eines entsprechenden Headsets in VR (Virtual Reality) betrachtet werden.

Bahneditor

Die Online-Aktualisierung von Programmen erfolgt normalerweise mithilfe des Teach Pendants. Wenn allerdings mehrere Instruktionen oder die komplette Prozessbahn bearbeitet werden sollen, ist dies ein mühsames und fehleranfälliges Unterfangen. Außerdem kann es schwierig sein, die genaue Richtung einzuschätzen, in die die Positionen bewegt werden müssen, um die Ziele richtig zu aktualisieren. Zudem kann es sein, dass sich Fehler nachträglich schwer korrigieren lassen, ohne dass vorherige Bearbeitungen verloren gehen.

Der RobotStudio RAPID-Bahneditor →06 bietet 3D-Ansichten und Möglichkeiten zur Bearbeitung von Programmen, die in die Robotersteuerung geladen werden. So können einzelne oder mehrere Positionen gleichzeitig bearbeitet werden, während das Programm automatisch aktualisiert wird. Sämtliche Änderungen können vor dem Laden in den Roboter rückgängig gemacht werden.

Virtuelle Steuerung

Die Aktualisierung und Inbetriebnahme eines Systems in der Produktionsumgebung kann zeitaufwändig und teuer sein – besonders, wenn einfachere Möglichkeiten zur Verfügung stehen. Traditionell werden dazu Offline-Programmier-systeme verwendet, doch Simulationen sind von Natur aus unvollkommen und spiegeln nicht immer die Realität wider.

Die virtuelle Steuerung von RobotStudio →07a, 07b ist eine exakte Kopie der realen Software, die den Roboter in der Produktionsumgebung steuert. Dies ermöglicht realistischere Simulationen unter Verwendung realer Roboterprogramme und identischer Konfigurationsdateien einschließlich der im Produktionsbereich verwendeten Sicherheitszonen. Mit der virtuellen Steuerung können sich Nutzer darauf verlassen, dass das, was sie im Programm sehen, auch das ist, was sie in der Produktionsumgebung bekommen. •

Literaturhinweise

[1] RobotStudio® Suite. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> (abgerufen am 15.01.2023).

[2] RobotStudio® Desktop. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/robotstudio-desktop> (abgerufen am 15.01.2023).

[3] „ABB RobotStudio® takes to the Cloud enabling real-time collaboration“. Success story. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/97646/prsr-abb-robotstudior-takes-to-the-cloud-enabling-real-time-collaboration> (abgerufen am 15.01.2023).

[4] RobotStudio® AR Viewer. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/ar-viewer-app> (abgerufen am 15.01.2023).

[5] Customer stories. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/products/robotics/customer-stories> (abgerufen am 15.01.2023).



01

EIN BLICK IN DIE ZUKUNFT DER PROZESSAUTOMATION

Das PLS von morgen

Seit mehr als vier Jahrzehnten ist ABB führender Anbieter von Prozessleitsystemen (PLS), die in den größten und kritischsten Prozessanlagen der Welt zum Einsatz kommen. Wie werden sich die PLS von ABB in den nächsten vierzig Jahren weiterentwickeln, um die Anforderungen einer sich schnell verändernden digitalisierten Industrie zu erfüllen?



—
01 Angesichts einer sich rasch wandelnden industriellen Welt müssen sich die PLS in den kommenden Jahrzehnten dramatisch weiterentwickeln.

Seit ihrer Einführung vor über 40 Jahren haben PLS einen enormen Beitrag zum sicheren, effizienten und zuverlässigen Betrieb Hunderttausender Industrieanlagen geleistet. ABB gehört von Anfang an zu den führenden Anbietern von PLS, die umfangreiche und kritische Prozesse in unterschiedlichsten Bereichen wie Energieversorgung, Wasser, Prozessindustrien, Öl- und Chemie, Nahrungsmittel und Getränke, Pharmazeutika, Schifffahrt und Rechenzentren steuern. Neben den Grundanforderungen der Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit ist heute eine stärkere und agilere Innovation gefragt, um der immer anspruchsvolleren und dynamischeren Industrielandschaft Rechnung zu tragen. Wie sollten sich die PLS von ABB in den nächsten 40 Jahren entwickeln, um diese Anforderungen zu erfüllen →01?



Ingo Mauritz
ABB Process Automation
Minden, Deutschland

ingo.mauritz@
de.abb.com

Zukunftssichere, flexible Architektur

Vorgesehen ist es, die Anforderungen an zukünftige Prozessautomatisierungssysteme durch eine Architektur zu erfüllen, die effektiv zwischen einem robusten, kontinuierlich aktualisierten „Evergreen“-Kern und einer erweiterten, digitalfähigen Umgebung unterscheidet. Während der Kern vornehmlich

auf eine zuverlässige, deterministische Reaktion ausgelegt ist, übernimmt die erweiterte Umgebung weniger zeitkritische Aufgaben und erleichtert gleichzeitig eine schnellere Innovation und kontinuierliche Leistungsverbesserungen. Eine solche erweiterte Automatisierungsumgebung ermöglicht

—
Prozessautomatisierungskerne und erweiterte Umgebungen werden virtuelle, modulare Einheiten sein.

eine sichere Konnektivität zu anderen IIoT-Initiativen (Industrial Internet of Things) und unterstützt eine engere Zusammenarbeit zwischen Menschen, Systemen und Anlagen →02.

Entsprechend der Vision des Open Process Automation Forum von unabhängigen Softwaremodulen mit definierten Kommunikationsschnittstellen werden zukünftige Prozessautomatisierungskerne und erweiterte Prozessautomatisierungsumgebungen virtuelle, modulare Einheiten mit cybersicheren Schnittstellen sein, die auf Informationsmodellen und einer Kommunikation gemäß dem Industriestandard OPC UA basieren [1]. Diese containerisierten Module werden automatisch entsprechend den an sie gestellten Leistungs- und Sicherheitsanforderungen orchestriert. Dabei erfolgt die Authentifizierung und Autorisierung nicht am Netzwerkrand, sondern in einem Zero-Trust-Ansatz im Kern, wobei die einzelnen Komponenten ihre Identität und Originalität sowie ihre Berechtigung für bestimmte Aufgaben digital nachweisen müssen, um der sich ebenfalls weiter entwickelnden Bedrohungslandschaft Rechnung zu tragen [2].

Da die Prozesssteuerungs- und Anwendungssoftware unabhängig von der Hardware in Form von containerisierten funktionalen Einheiten vorliegt, kann sie flexibel eingesetzt und dynamisch über individuelle und Industrie-PC-basierte Steuerungen, Edge-Geräte, Server vor Ort und Cloud-Plattformen hinweg bereitgestellt werden.

Die Orchestrierungsumgebung automatisiert die Lastverteilung zwischen den Hardwareressourcen und vereinfacht die Zuordnung der Steuerungsanwendungen. Erweiterte Anwendungen laufen neben dem Steuerungskern und können dank ihrer Containerisierung einfach modifiziert werden, ohne den Betrieb zu beeinträchtigen.

Darüber hinaus können neue Funktionalitäten von ihrer Implementierung anhand von Simulationen mithilfe von digitalen Zwillingen online getestet und validiert werden.

Die notwendige Resilienz wird durch anpassbare Verfügbarkeitskonzepte sichergestellt, die darauf ausgelegt sind, die Anforderungen der jeweiligen Anwendung zu erfüllen, und Nutzern die Möglichkeit bieten, die Systemverfügbarkeit mit einem kostengünstigen Hardwareeinsatz zu optimieren.

Automatisierte Orchestrierung, verborgene Komplexität

Die Orchestrierung und das Management modularer, containerisierter Steuerungs-Engines und -anwendungen stellt eine erhebliche Veränderung für Nutzer zukünftiger Prozessautomatisierungssysteme dar. Während IT-Abteilungen solche Aufgaben möglicherweise gewohnt sind, befassen sich Betriebsingenieure vorwiegend mit der Prozessführung und weniger mit der Verwaltung der Tools, die die Prozesse steuern. Folglich besteht ein Bedarf, diese Tätigkeiten zu automatisieren.

Kontinuierliche Einführung neuer Technologie

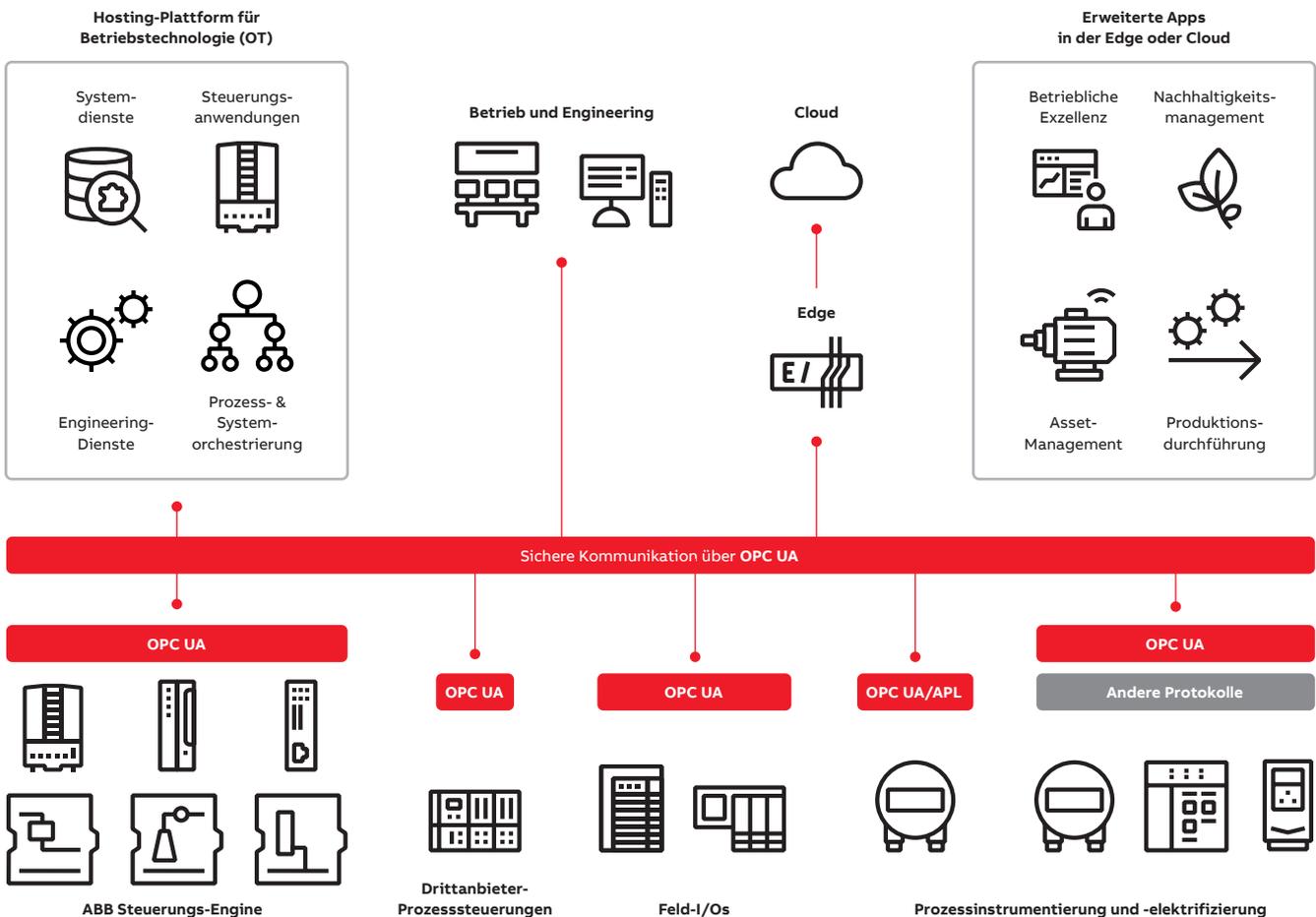
Das Prozessautomatisierungssystem der Zukunft wird so konzipiert sein, dass derzeitige Nutzer mit minimaler Veränderung ihrer vorhandenen Konfiguration von neuen Technologien und Lösungen profitieren können. Zum Schutz ihres geistigen Eigentums und ihrer Investitionen in

Anwendungen können Nutzer ihre Infrastruktur beibehalten und selbst entscheiden, wann sie neue Technologien einführen, um bestimmte Anforderungen zu erfüllen.

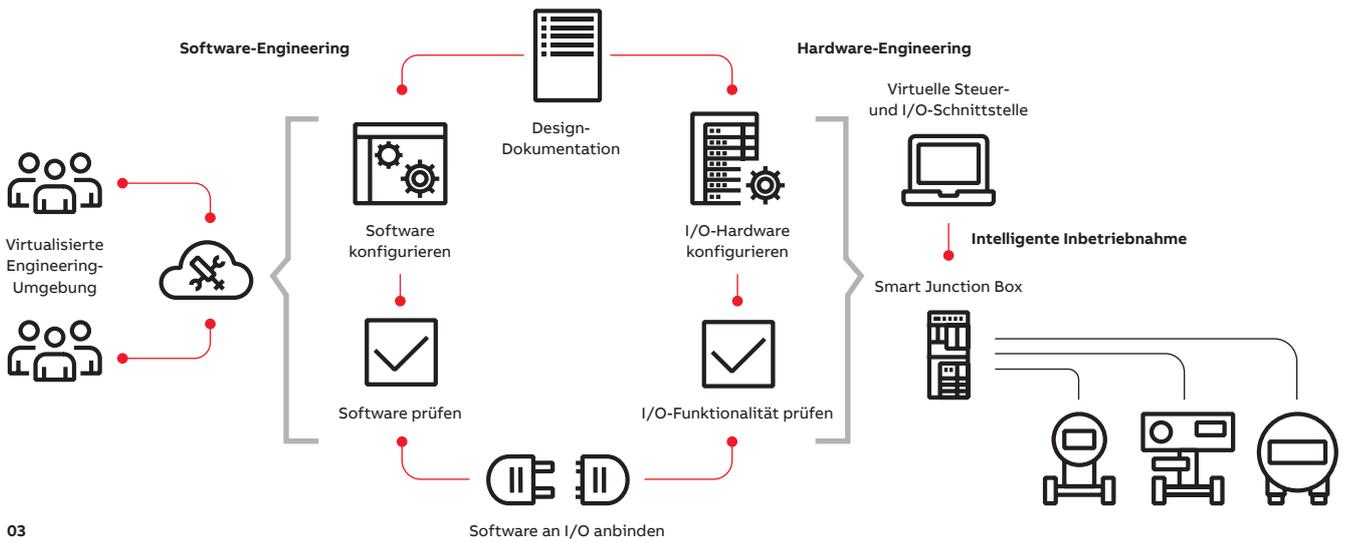
Neue Portabilitätskonzepte und eine Schicht der Technologieunabhängigkeit zwischen der Soft- und Hardware erleichtern die Übertragung von Anwendungen von einer Plattform zur anderen und minimieren Probleme hin-

Nutzer können mit minimaler Veränderung ihrer Konfiguration von neuen Technologien und Lösungen profitieren.

sichtlich des Lebenszyklus der Hardware. Das Ergebnis ist eine kostengünstigere, risikoärmere Methode zur allmählichen Weiterentwicklung derzeitiger Systeme, die dafür sorgt, dass die zukünftige Automatisierung stets auf dem neuesten Stand ist.



Modell zur parallelen Projektausführung



03

02 Eine flexible, interoperable, modulare und sichere Architektur, die an Kundeninitiativen und neuen Technologien ausgerichtet ist.

03 Die Trennung von Hardware- und Software-Engineering ermöglicht die Entkopplung von Aufgaben und die parallele Arbeit unabhängiger Teams mit präziser und effizienter später Bindung, was wiederum die Auswirkungen von Änderungen auf den Projektzeitplan mindert.

04 Das Prozessautomatisierungssystem der Zukunft ist ein ganzheitliches digitales Ökosystem mit gemeinsam genutzten Daten.

Eine anpassungsfähige Architektur

Mit der Stärkung des Leitsystemkerns einher geht die Verlagerung nichtkritischer Funktionalitäten, die möglicherweise häufiger aktualisiert werden, auf eine nach außen gerichtete Plattform. Die Edge-Software von ABB bietet diese Funktionalität. Sie fungiert als Datendiode zum sicheren Schutz des Kerns und stellt ein umfassendes Anwendungs-Framework zur Überwachung und Optimierung bereit. Sind Edge-Funktionen für die Funktionalität der Kernsteuerung entscheidend, kann die Software als Teil des Kerns implementiert werden. Das neue Prozessautomatisierungssystem bietet diese Flexibilität.

Transformation von Projektausführung und Automatisierung

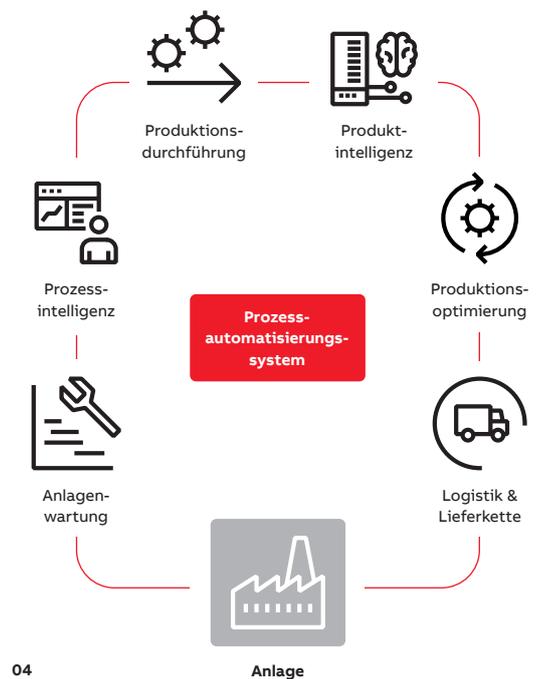
Die Projektausführung kann durch Entkopplung von Hardware-Engineering und Softwareentwicklung rationalisiert werden, wie es zum Beispiel mit ABB Adaptive Execution™ möglich ist. Das Tool unterstützt die parallele Ausführung von Projektaufgaben durch unterschiedliche Teams an

eine Überprüfung der Performance gegenüber bestimmten funktionalen Vorgaben. Diese virtuelle Inbetriebnahme hilft bei der Erkennung potenzieller Probleme, was ein reibungsloseres, schnelleres Anfahren ermöglicht, und kann parallel zu anderen Projektaufgaben erfolgen.

Eine zusätzliche Rationalisierung der Projektausführung ermöglichen Bibliotheken mit modularem, wiederverwendbarem Programmcode, der für bestimmte Arten von Prozessen oder Betriebsmitteln entwickelt wurde. Zukünftige Prozessautomatisierungssysteme werden vorgefertigte, vorgeprüfte Automatisierungssoftware-Module nutzen, die komplett mit Elementen für die Steuerung, Visualisierung und dazugehörige Dienste bereitgestellt werden. Dank

Die Projektausführung lässt sich durch Entkopplung von Hardware-Engineering und Softwareentwicklung rationalisieren.

unterschiedlichen Standorten und sogar in virtualisierten cloudbasierten Engineering-Umgebungen →03. So können Ingenieure zum Beispiel virtuelle Anwendungstests und Inbetriebnahmen mithilfe von Virtualisierungs-, Emulations- und Simulationstechnologien durchführen, die als digitaler Zwilling in der Cloud implementiert sind. Der digitale Zwilling bildet die Prozessdynamik nach und ermöglicht



04

wohldefinierter Kommunikationsschnittstellen für die Interaktion mit anderen Modulen kann auf die Entwicklung von „Klebstofflogik“ zur Koordination des Modulverhaltens verzichtet werden. Vorgefertigte Module ermöglichen zudem eine agile Anpassung der Steuerungsstrategie und

Die Digitalisierung wird neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen mit sich bringen.

Rekonfiguration von Prozessen. Qualitätskontrollen an vorgeprüftem Programmcode sorgen zudem dafür, dass die betreffende Einheit schnell und ohne Zwischenfälle in Betrieb gehen kann.

Die Gesamtprozessorchestrierung der Softwaremodule wird vom Automatisierungssystem erleichtert, wobei sich die Aufgaben des Steuerungsingenieurs von der Programmierung der Steuerlogik zur Konfiguration prozessspezifischer Automatisierungsanforderungen wandelt. Soll eine Prozesseinheit entwickelt werden, für die ohne Weiteres kein vorgeprüftes Modul umfunktioniert werden kann, verkleinern automatisierte Engineering-Methoden die Lücke zwischen Offline-Engineeringtools und der direkten Codeentwicklung im Prozessautomatisierungssystem der Zukunft.

Ein digitales Ökosystem mit IIoT-Anbindung

Zu den Funktionen der in zukünftigen Prozessautomatisierungssystemen vorgesehenen erweiterten, digitalfähigen Umgebung gehört die sichere, vereinfachte Interaktion mit anderen

bedeutenden Elementen in der Edge, vor Ort oder in der Cloud. Diese bietet Nutzern auf Anwendungsebene einen sicheren Zugriff auf steuerungsbezogene OT-Daten – und Daten von anderen IIoT-Geräten, Anwendungen und Geschäftsstrukturen – ohne dass Kernsteuerungsaufgaben gestört werden →04.

Das digitale Ökosystem baut auf neuesten Edge- und Cloud-Technologien auf. Diese verändern die Automatisierungslandschaft, indem sie eine flexible und sichere Datenverarbeitungsinfrastruktur einschließlich Servern, Datenspeichern, Entwicklungsumgebungen, Business-Intelligence-Diensten, künstlicher Intelligenz (KI) und Datenanalysen zur Verbesserung des Risikomanagements, Optimierung der Produktivität und Erreichung von Nachhaltigkeitszielen bereitstellen.

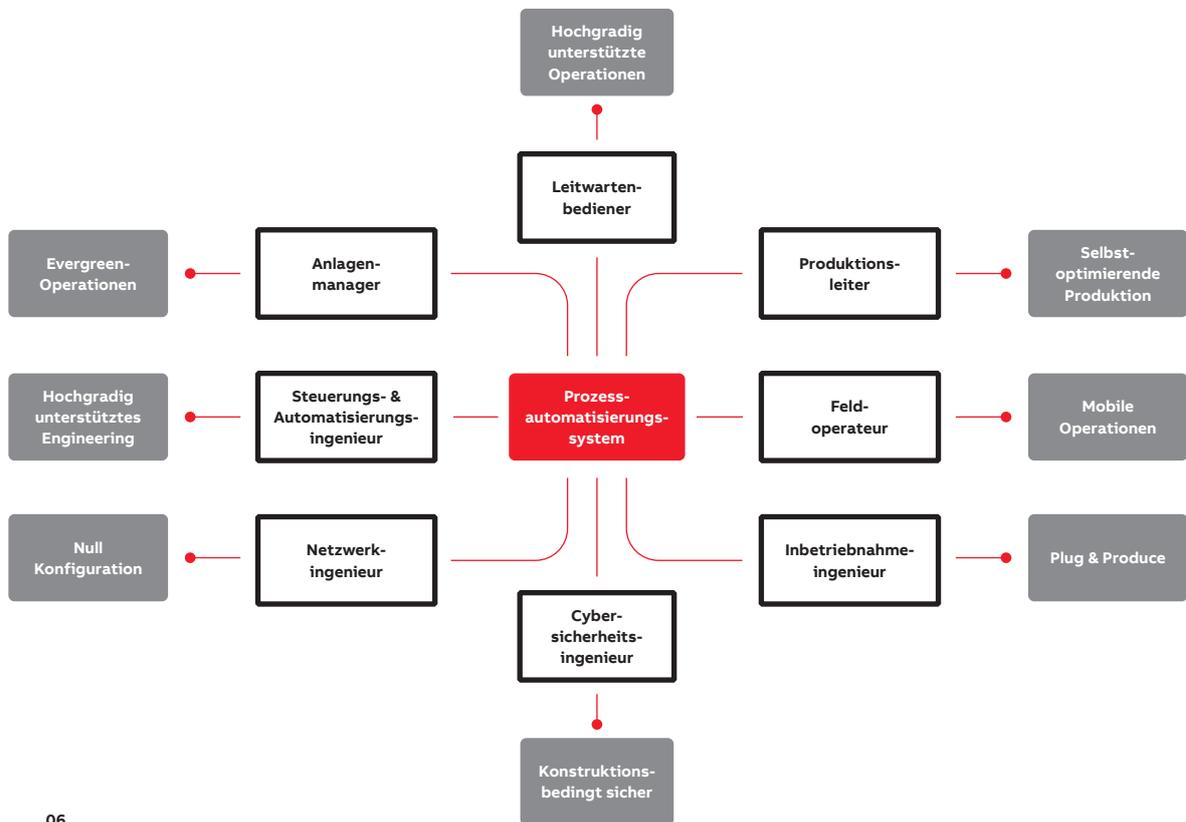
Optimierung mit Datenanalysen

Daten spielen eine zentrale Rolle bei der Optimierung auf Prozess-, Anlagen- oder Unternehmensebene. Die besondere Herausforderung besteht darin, die Daten aus verschiedenen Quellen zu erfassen, zusammenzuführen und anschließend zu kontextualisieren, in fundierte Erkenntnisse umzuwandeln und den richtigen Personen zum rechtzeitigen Handeln zur Verfügung zu stellen. Hier werden flexible, Edge-orientierte Lösungen Probleme vorhersagen und Maßnahmen für einen besseren Anlagenbetrieb, bessere vorbeugende Wartungsstrategien und eine bessere Abstimmung von Produktionsprozessen vorschlagen.

Türöffner für neue Geschäftsmodelle

Die Digitalisierung wird eine Reihe neuer Geschäftsmodelle und Dienstleistungen mit sich bringen, denn durch die Trennung des digitalen Ökosystems vom





06

05 Ein Ziel ist es, die Fähigkeiten des Menschen zu erweitern und sein Potenzial zu stärken.

06 Digitale Daten gelangen ohne Störung des Steuerungskerns auf direktem Weg zu Cloud-Anwendungen.

kritischen Kern können erweiterte Anwendungen einem separaten Softwarebeschaffungsprozess folgen, der eine viel höhere Geschwindigkeit ermöglicht und die Tür zu SaaS- (Software as a Service) oder PaaS-Geschäftsmodellen (Platform as a Service) öffnet. Damit einher geht eine Verlagerung der Kosten von Investitions- zu Betriebskostenbudgets.

Veränderte Rollen und Prozesse

Mit der digitalen Transformation der heutigen PLS einher geht ein Wandel der Rollen und Aufgaben des Anlagenpersonals. Während das zukünftige System weitreichende Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse hat, dürften die Aufgaben des Leitwartenpersonals am direktesten betroffen sein.

In zukünftigen Automatisierungssystemen werden autonome Betriebsabläufe und industrielle KI die Arbeit revolutionieren – nicht unbedingt indem sie den Menschen ersetzen, sondern indem sie die kognitiven Fähigkeiten des Menschen erweitern, um sein Potenzial zu stärken und Entscheidungen zu unterstützen →05. Experten werden von banalen, wiederkehrenden Aufgaben befreit und können sich auf höherwertige Tätigkeiten konzentrieren. Mit anderen Worten, Menschen und autonome Systeme werden zusammenarbeiten, wobei der Mensch die endgültige Entscheidung trifft.

Im Feld werden Sensordatenerfassung und Algorithmen des maschinellen Lernens die Sinne des Bedienpersonals durch AR-Tools (Augmented

Reality) erweitern und eine effizientere Wartung und Inbetriebnahme ermöglichen. Für Ingenieure wird eine Vielzahl von Innovationen die Komplexität, die mit dem Management heutiger integrierter Anlagensysteme verbunden ist, beseitigen. Dazu gehören selbstkonfigurierende Netzwerke, Evergreen-Operationen, das Hinzufügen neuer Anlagenmodule nach dem Plug-&-Produce-Prinzip sowie nativ cybersichere Komponenten →06.

Der Weg in die Zukunft

Die hier beschriebene Vision eines Prozess-automatisierungssystems stellt die Richtschnur von ABB zur kontinuierlichen Vereinfachung und Beschleunigung der PLS-Innovation in den nächsten Jahrzehnten dar. ABB geht davon aus, dass die Prozessautomatisierungssysteme der Zukunft durch Bereitstellung von anpassbaren, zuverlässigen, integrierten, modularen und sicheren Automatisierungslösungen mit flexibler, einfacher und schneller Projektierung und Inbetriebnahme [2] Industrieunternehmen dabei helfen werden, sich in einer sich rasch wandelnden Welt zu behaupten. Diese Vision erleichtert die digitale Transformation und Zusammenarbeit zwischen Menschen, Systemen und Anlagen durch eine sichere OT/IT-Integration für autonome Betriebsabläufe und eine nachhaltige Performance und sorgt gleichzeitig für die Sicherheit von Mensch und Umwelt sowie einen dauerhaften wirtschaftlichen Erfolg für diejenigen Unternehmen, die diesen Weg beschreiten. •

Literaturhinweise

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

[2] ABB: „Envisioning future process automation systems: Enabling innovation while preserving continuity“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/control-systems/control-systems/envisioning-the-future-of-process-automation-systems> (abgerufen am 14.02.2023).

—
ABB ABILITY™ CYBER SECURITY WORKPLACE

Sicherer Cyberspace





Kees van Overveld
Cyber Security Service
Products
Etten-Leur, Niederlande

kees.overveld@
nl.abb.com



Matthew Virostek
Cyber Security Service
Portfolio
Cleveland, OH, USA

matthew.virostek@
us.abb.com

ABB Ability™ Cyber Security Workplace konsolidiert Daten von verschiedenen Cybersicherheitssystemen und stellt diese auf einer einfachen Benutzeroberfläche bereit. So können Sicherheitsverantwortliche den Status ihrer Sicherheitskontrollen überwachen, Wartungsmaßnahmen durchführen und handlungsweisende Alarme erhalten, um Bedrohungen abzuwenden und Risiken zu mindern.

Mit zahlreichen Betriebsmitteln, einer Vielzahl von Regelkreisen und Reglern sowie einer umfangreichen informations- (IT) und betriebstechnischen (OT) Infrastruktur können Industrieanlagen in puncto Cybersicherheit eine erhebliche Herausforderung darstellen. Tatsächlich nehmen Cyberangriffe auf Industrieanlagen sowohl in ihrer Häufigkeit und Komplexität als auch im Umfang der verursachten Schäden zu. So werden zum Beispiel täglich rund 450.000 neue Fälle von Schadprogrammen (Malware) erkannt [1]. Erschwerend kommt hinzu, dass zurzeit weltweit 3.500.000 Arbeitsplätze im Bereich Cybersicherheit unbesetzt sind [2].

Obwohl sich die meisten Unternehmen der Folgen einer unzureichenden Cybersicherheit bewusst sind, lässt der Schutz gegen Malware häufig zu wünschen übrig. Häufig kaufen und

Täglich werden rund 450.000 neue Fälle von Schadprogrammen erkannt.

implementieren Unternehmen eine softwarebasierte Cybersicherheitslösung für jedes System in der Anlage. So weit, so gut. Doch da diese Lösungen von verschiedenen, miteinander konkurrierenden Anbietern entwickelt werden, sind sie alle unterschiedlich, und jede Plattform einzeln

		Auswirkung			
		Akzeptabel	Tolerierbar	Nicht akzeptabel	Nicht tolerierbar
		Geringe oder keine Wirkung	Wirkungen spürbar, aber geringer Einfluss auf Produktion	Starker Einfluss auf Produktion	Verstoß gegen Gesetze oder Vorschriften
Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlich	●	●	●	●
	Möglich	○	●	●	●
	Unwahrscheinlich	○	●	●	●

01

zu verwalten, zu warten und zu überwachen ist kompliziert, mühsam, teuer und zeitaufwändig. So kommt es, dass die Cybersicherheitstools häufig nicht die notwendige Aufmerksamkeit bekommen, und schon ist es passiert: Cyberan-

Der Cyber Security Workplace ist eine einfache und kosteneffektive Lösung, um Gefährdungen zu reduzieren.

greifer dringen in IT- und OT-Netzwerke ein und verursachen katastrophale Schäden. Die Anlage muss womöglich – mit enormen finanziellen Verlusten – wochenlang stillgelegt werden, und ein beschädigter Ruf und Geldstrafen können folgen. In diesem Fall lassen sich die Fehler des Unternehmens wie folgt zusammenfassen:

- Mangelndes Bewusstsein und unzureichende Priorisierung der Abwehrmaßnahmen gegen Cyberangriffe →01
- Fehlender Überblick über die aktuell aktiven Sicherheitskontrollen
- Begrenzter Zeitaufwand für die Wartung der Sicherheitskontrollen

Ein solches Unternehmen benötigt eine Lösung, die die Cybersicherheit vereinfacht, indem sie vorhandene Tools konsolidiert, die Erkennung von Risiken automatisiert und eine schnellere Abwehr ermöglicht. Genau das bietet ABB Ability Cyber Security Workplace.

ABB Ability Cyber Security Workplace

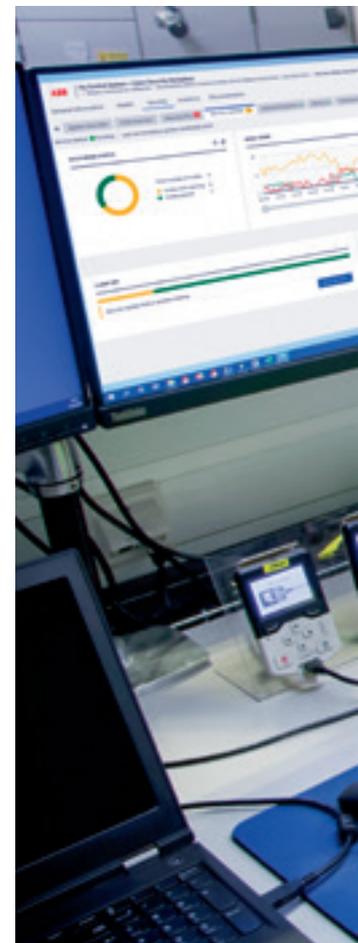
ABB Ability Cyber Security Workplace bietet eine konsolidierte Ansicht auf einer einfachen Benutzeroberfläche und ermöglicht so automatisch einen vollständigen Überblick über alle Sicherheitskontrollen.

Daten von ABB- und Drittanbieter-Cybersicherheitslösungen werden von ABB Ability Cyber Security Workplace gesammelt und an eine konsolidierende native Anwendung übergeben. So können Sicherheitsverantwortliche den Status aller Sicherheitskontrollen nahtlos überwachen, Wartungsmaßnahmen zur Erhöhung der Resilienz durchführen und Alarme mit handlungsweisenden Informationen erhalten, um Bedrohungen abzuwenden und Risiken zu mindern →02.

ABB Ability Cyber Security Workplace bietet somit eine einfache und kosteneffektive Lösung, um die Gefährdung der Produktion durch Cybersicherheitsbedrohungen erheblich zu reduzieren.

Vereinfachte, konsolidierte und automatisierte Risikoerkennung

ABB Ability Cyber Security Workplace kennzeichnet Probleme und deren Schwere deutlich anhand von Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) und Ampelfarben. Eine integrierte Ursachenanalyse evaluiert jedes Problem und liefert Vorschläge zur Beseitigung. Dadurch wird die zur Systemwartung erforderliche Exper-



— 01 In der Cybersicherheit ist das Risiko eine Funktion von Auswirkung und Wahrscheinlichkeit.

— 02 ABB Ability Cyber Security Workplace bietet Nutzern einen umfassenden Überblick über deren Cybersicherheitssituation.

tise reduziert. Außerdem beschleunigen die Schritt-für-Schritt-Anweisungen die Problembeseitigung, was wiederum die Gesamtbetriebskosten senkt.

Da alle Alarme auf einem Bildschirm konsolidiert werden und somit schnell erkennbar sind, wird die Zeit, für die Cyberrisiken in der Produktionsumgebung bestehen, minimiert. Und da alle Kontrollen von einem Ort aus zugänglich sind, sinken die mit der Wartung verbundenen Arbeitskosten.

Status-Dashboard für Sicherheitskontrollen

Herzstück des ABB Ability Cyber Security Workplace ist ein Dashboard, das Sicherheitskontrollen überwacht, erhöhte Risiken kennzeichnet und Sicherheitsverantwortliche durch die notwendigen Schritte zum Schutz von Menschen, Anlagen und Prozessen führt →03–04.

Darüber hinaus überwacht ABB Ability Cyber Security Workplace kontinuierlich den Status von Sicherheitspatches und sorgt dafür, sodass Patches gegen bekannte Bedrohungen installiert werden, sobald sie zur Verfügung stehen. Das System informiert die Sicherheitsverantwortlichen, wenn ein Update

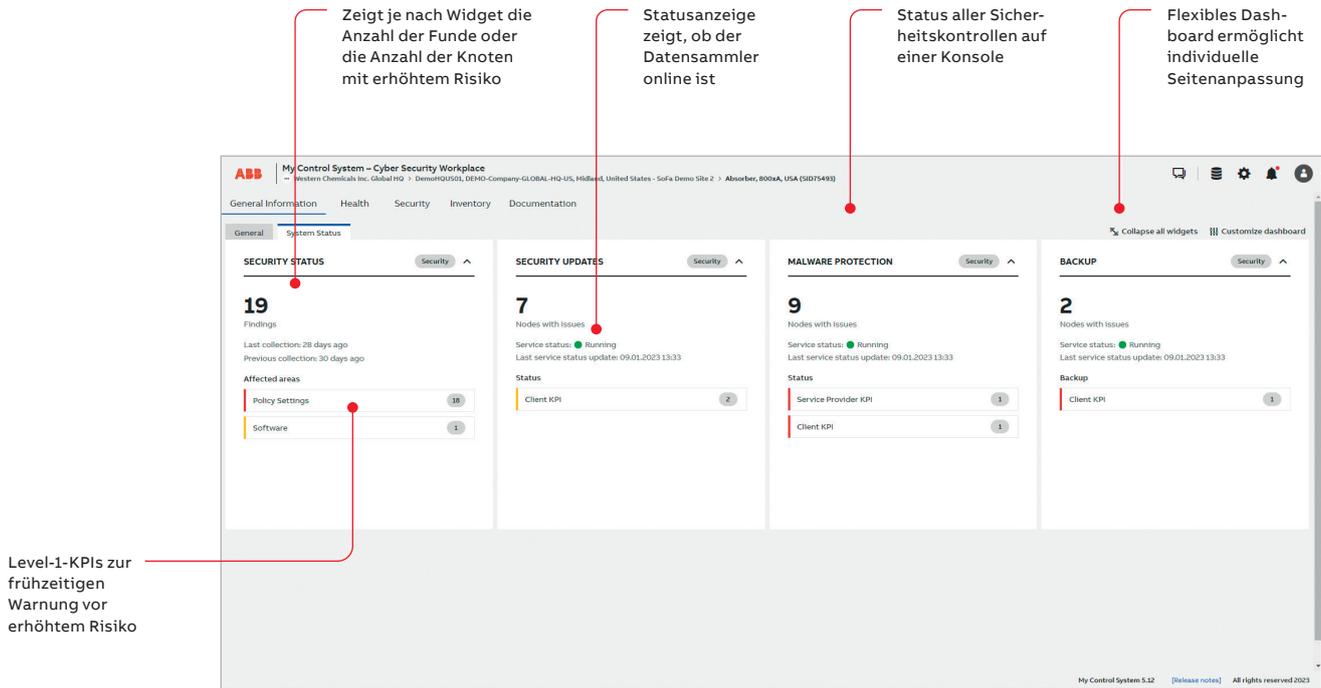
erfolgreich war, welche Systeme ein Update benötigen und wenn ein Systemneustart erforderlich ist.

Um die Produktionsumgebung gegen ungezielte Bedrohungen zu schützen, überwacht ABB Ability Cyber Security Workplace kontinuierlich den Status des Malware-Schutzes und warnt, wenn die Aktualisierung einer Malware-Sperrliste (Deny-

— **Cyber Security Workplace installiert Sicherheitspatches, sobald sie zur Verfügung stehen.**

Liste) nicht erfolgreich war, sodass das Problem schnell behoben werden kann. Ein Alarm wird ebenfalls ausgegeben, wenn Anti-Malware-Software fehlt oder vergessen wurde – was zum Beispiel passieren kann, wenn ein Peripheriegerät ausgetauscht wird. ABB Ability Cyber Security Workplace bietet zudem die Möglichkeit, bestimmte OT- und IT-Umgebungen zum Schutz gegen unberechtigte Zugriffe von außen zu isolieren.





03

Außerdem steht eine intelligente Funktion zur Überwachung der angeschlossenen Geräte und der Kommunikationsflüsse zur Verfügung. Diese informiert die Sicherheitsverantwortlichen, sobald ein Gerät im überwachten Netzwerk beginnt, mit einem Hacker in einem anderen Netzwerk (z. B. mit einem Command-and-Control-Server) zu kommunizieren →05.

ABB Ability Cyber Workplace überwacht zudem den Status von Backups, um sicherzustellen, dass geeignete Backups zur Verfügung stehen, um schnell einen bekannten einwandfreien Zustand wiederherzustellen. Dies kann zum Beispiel darüber entscheiden, ob die Produktion innerhalb weniger Stunden oder erst nach mehreren Tagen oder Wochen vollständig wiederhergestellt ist.

Benutzermanagement für den Fernzugriff

Fernzugriff ist eine nützliche Sache, die aber auch Gefahren birgt. ABB Ability Cyber Security Workplace reduziert die mit Fernzugriffen verbundenen Risiken durch die Verwaltung von Benutzerkonten und Authentifizierungen. Bei einem Zugriffsversuch von außen werden die Sicherheitsverantwortlichen sofort benachrichtigt, und Remoteverbindungen können jederzeit aktiviert oder beendet werden. Außerdem kann eine Historie der durchgeführten Fernzugriffe generiert werden.

Konsolidierte Cybersicherheit

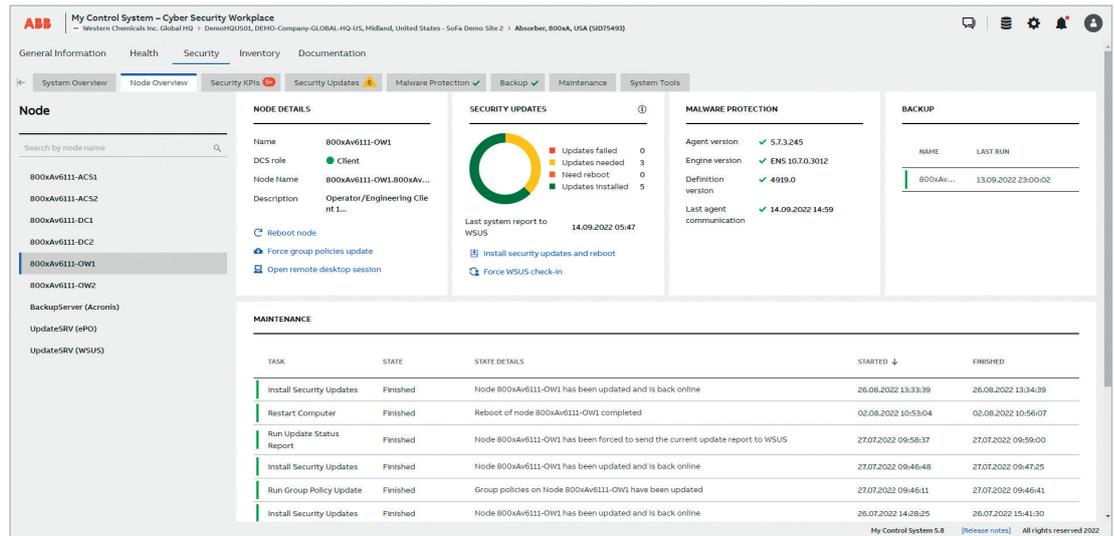
Durch die Zusammenführung von ABB-eigenen Cybersicherheitslösungen und Tools von Drittanbietern in einer konsolidierten nativen Anwendung haben Sicherheitsverantwortliche die Gesamtsituation in ihrer Anlage stets im Blick. Alarme mit handlungsweisenden Informationen sorgen dafür, dass nichts übersehen wird und dass jede unmittelbare Bedrohung sofort erkannt und abgewehrt werden kann.

Ein intelligente Funktion überwacht die angeschlossenen Geräte und Kommunikationsflüsse.

ABB Ability Cyber Security Workplace trägt außerdem durch Konsolidierung von Tools und Verbesserung der Effizienz von Sicherheitsmaßnahmen zur Senkung der Kosten bei. Gleichzeitig erhöht das System die Cyberresilienz, indem es die durchschnittliche Zeit bis zur Risikoerkennung und -abwehr verkürzt.

Das letzte Wort überlassen wir einem Anlagenmanager, der ABB Ability Cyber Security Workplace vor Kurzem implementiert hat:

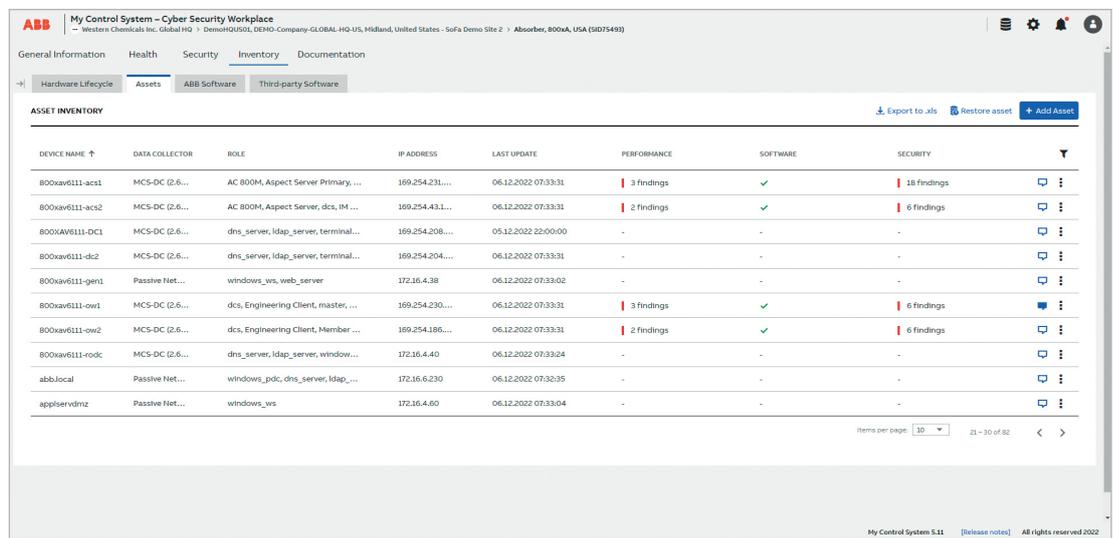
03 Dashboard für die Sicherheitskontrollen in ABB Ability Cyber Security Workplace.



04

04 Typische Bildschirmansicht von ABB Ability Cyber Security Workplace.

05 Typische Ansicht zur Überwachung der angeschlossenen Geräte.



05

„Cybersicherheit ist einer von vielen Bereichen, um die ich mich am Standort kümmern muss. Ich beauftrage Ingenieure vor Ort mit der Implementierung von Sicherheitskontrollen

unsere Lücken sind und wie wir sie schließen. Ich habe keinen Zugang zu interner Cybersicherheitsexpertise, um Expertentools zu implementieren und zu verwalten. Mit Cyber Security Workplace von ABB muss ich kein Experte sein, um den Status meiner Sicherheitskontrollen zu verstehen. Die Lösung ermöglicht es mir, Lücken in meinen Sicherheitskontrollen auf einer einzigen Benutzeroberfläche zu erkennen. Gibt es Probleme, erhalte ich einen Alarm, der mir die erforderlichen Daten und Analysen liefert, um dies genauer zu untersuchen und mithilfe der Serviceingenieure von ABB geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. Der Cyber Security Workplace reduziert den Aufwand, der zur Verwaltung und Wartung meiner Sicherheitskontrollen erforderlich ist, und mindert mein Risiko erheblich“.

Das System liefert die Daten und Analysen für eine genauere Untersuchung und geeignete Gegenmaßnahmen.

und muss sicher sein, dass meine Systeme über die richtigen Kontrollen verfügen und globalen Anforderungen genügen. Es ist schwierig und ressourcenintensiv, herauszufinden, was und wo

Literaturhinweise

[1] AV-TEST Institute: „Malware Statistics & Trends Report“. Verfügbar unter: <https://www.av-test.org/en/statistics/malware/> (abgerufen am 07.09.2022).

[2] S. Morgan: „Cybersecurity Jobs Report: 3.5 Million Openings In 2025“. *Cybercrime Magazine*. Verfügbar unter: <https://cybersecurityventures.com/jobs/> (abgerufen am 07.09.2022).

VIRTUALISIERUNG VON SCHUTZ- UND STEUERUNGSFUNKTIONEN FÜR UNTERSTATIONEN

Vorzüge der Virtualisierung

01 Virtualisierung hilft dabei, viele Herausforderungen bei der Instandhaltung und Aktualisierung der Hardware in Unterstationen zu bewältigen. An dieser Station in Finnland wurden entsprechende Feldversuche durchgeführt.

Sandro Schönborn
Thanikesavan Sivanthi
ABB Corporate Research Center
Baden-Dättwil, Schweiz

sandro.schoenborn@ch.abb.com
thanikesavan.sivanthi@ch.abb.com

Anna Kulmala
Henry Niveri
ABB Distribution Solutions
Tampere, Finnland

anna.kulmala@fi.abb.com
henry.x.niveri@fi.abb.com

Robert Birke
Ehemaliger ABB-Mitarbeiter



Das sich rasch verändernde Netzumfeld zwingt Betreiber von Mittelspannungs-Unterstationen dazu, Kosten zu senken, die Instandhaltung und Aktualisierung ihrer Anlagen zu vereinfachen und die Integration einer zunehmenden Zahl von dezentralen Energiequellen zu ermöglichen. Virtualisierung hilft ihnen dabei, diese Herausforderungen zu bewältigen.

Auch wenn sie für gewöhnlich niemandem auffallen, gibt es sie überall dort, wo sich Wohnhäuser oder Industrie in nennenswertem Maße konzentrieren: Mittelspannungs-(MS-)Unterstationen (auch Umspannwerke genannt) → 01. Sie haben die Aufgabe, die Spannung aus dem Hochspannungsnetz herunterzutransformieren, und spielen somit eine entscheidende Rolle für die Stromversorgung von privaten und industriellen Verbrauchern.

In modernen Unterstationen kommen für gewöhnlich Geräte von verschiedenen Anbietern zum Einsatz, d. h. auf proprietärer Hardware laufen Anwendungen, die für die Funktion der Station entscheidend sind. Allerdings ist die Instandhaltung und Aktualisierung von vielen proprietären Geräten eine anspruchsvolle und teure Angelegenheit. Darüber hinaus sehen sich Betreiber von Unterstationen mit weiteren Herausforderungen konfrontiert – wie etwa der zunehmenden Anzahl von dezentralen Energieressourcen (DERs) im Verteilnetz. Damit verbunden sind zusätzliche Investitionen in die Intelligenz und Resilienz des Netzes. Hinzu kommt, dass Verteilnetzbetreiber (VNBs) generell unter ständigem Druck stehen, ihre Investitions- und Betriebskosten zu senken.

Eine wirksame Möglichkeit, diese Herausforderungen zu bewältigen, ist die Einführung einer flexiblen und schnellen Implementierung von Anwendungen in Unterstationen. Damit haben VNBs nicht nur die Möglichkeit, Anwendungen verschiedener Anbieter auf derselben Hardware zu implementieren, sondern bei Bedarf auch Funktionalitäten hinzuzufügen oder vorhandene

Der Schlüssel zur flexiblen und schnellen Implementierung liegt in der Virtualisierung.

Funktionalitäten zu erweitern. Der Schlüssel zu einer solchen flexiblen und schnellen Implementierung von Anwendungen liegt in der Virtualisierung.

Entkopplung von Software und Hardware

Das Konzept, Software mittels Virtualisierung von der zugrunde liegenden Hardware zu entkoppeln, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten in der IT-Landschaft als sehr erfolgreich erwiesen. Tatsächlich ist die Virtualisierung das „Arbeits-





02

„pfeder“, das eine moderne Cloudinfrastruktur ermöglicht, da sie die Hardwarekosten reduziert und die Wartung vereinfacht. Bei der Virtualisierung laufen Anwendungen in einer „virtuellen“ Umgebung, losgelöst von der tatsächlich zugrunde liegenden Plattform und isoliert von anderen auf der Plattform laufenden Anwendungen. Durch Virtualisierung lässt sich Software nahezu unabhängig von der zugrunde liegenden Plattform implementieren, ausführen, austauschen und migrieren → 02. Darüber hinaus kann durch Virtualisierung eine

Im Hinblick auf die Stationsautomatisierung ergeben sich besondere Herausforderungen.

hohe Verfügbarkeit und Resilienz bei überschaubaren Kosten gewährleistet werden. Diese Vorzüge der Virtualisierungstechnologie können VNBs dabei helfen, die Herausforderungen und Einschränkungen der Stationsautomatisierung zu bewältigen, und die Implementierung und Skalierung neuer Anwendungen erleichtern.

Virtualisierung für die Stationsautomatisierung

Virtualisierung kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden:

- Auf der Hardwareebene in virtuellen Maschinen (VMs), die die Funktionalität eines physischen Computers bereitstellen, ohne dass sich die Entwicklerin/der Entwickler mit der tatsächlichen physischen Hardware befassen muss.
- Auf der Betriebssystemebene (OS) in soge-

nannten Containern. Im Gegensatz zu einer VM, die eine komplette Hardwaremaschine virtualisiert, virtualisiert ein Container die Softwareebenen oberhalb des OS und kann Prozesse isolieren und den Zugriff von Prozessen auf CPUs, Speicher usw. steuern.

- Auf der Funktionsebene wie bei der serverlosen Datenverarbeitung (Serverless Computing). Hier sind zwar weiterhin Server beteiligt, aber losgelöst von der Anwendung, sodass die Entwickler/innen sich nicht um die Bereitstellung oder Verwaltung der Serverinfrastruktur kümmern müssen, da dies vom Cloudanbieter übernommen wird.

Im Hinblick auf die Stationsautomatisierung ergeben sich für die Virtualisierungstechnologie Herausforderungen, die es beim Cloud-Computing nicht gibt. Während in der Cloud üppige Rechen-, Speicher- und Netzwerkressourcen zur Verfügung stehen, sind die auf den Stationsgeräten verfügbaren Ressourcen eher bescheiden. Zudem laufen darauf Anwendungen mit unterschiedlicher Kritikalität (sicherheitskritisch und nicht sicherheitskritisch), von denen einige möglicherweise bestimmte Hardwarekonfigurationen – zum Beispiel Unterstützung des Precision Time Protocols (PTP) in einer Netzwerkkarte – erfordern. Hinzu kommt, dass viele Stationsanwendungen mit speziellen Anforderungen an Reaktionszeiten und eine hohe Verfügbarkeit verbunden sind, die im Betrieb erfüllt werden müssen.

Diese Anforderungen unterscheiden die Virtualisierung deutlich, wenn es um die Verteilungs- oder Stationsautomatisierung geht. Folglich ist für eine Bündelung mehrerer VMs oder Container auf Geräten eine sorgfältige Ressourcenbereit-

—
02 Virtualisierung ermöglicht eine Entkopplung der Software von der zugrunde liegenden Plattform.

—
03 Der Screenshot eines der seltenen Ereignisse in der Station zeigt, wie der multifrequente admittanzbasierte Erdfehlerschutz (auf die Millisekunde genau) gleichzeitig über alle drei Stationsinstanzen hinweg funktioniert.

stellung und -zuordnung erforderlich. Ansonsten kann es aufgrund von Konflikten zu nichtdeterministischen Verzögerungen kommen, die die Echtzeitgarantien für die in den VMs oder Containern laufenden Anwendungen gefährden.

ABB hat die Anwendbarkeit der Virtualisierungstechnologie in MS-Unterstationen, insbesondere die Nutzung von Echtzeit-Schutz- und Steuerungsanwendungen in Linux-Containern untersucht, die eine Virtualisierung auf OS-Ebene ermöglichen. Dazu wurden mehrere Instanzen

Ressourcenbereitstellung und -verwaltung sind entscheidend für eine erfolgreiche Virtualisierung.

eines zentralisierten Stationsschutz- und -steuerungssystems auf demselben Host ausgeführt und die Echtzeit-Performance der Steuerungs- und Schutzanwendungen mithilfe maßgeschneiderter Lösungen zur Ressourcenbereitstellung und virtuellen Vernetzung demonstriert. Die folgende Beschreibung zeigt, wie entscheidend eine effektive Ressourcenbereitstellung und -verwaltung für eine erfolgreiche Virtualisierung in der Stationsautomatisierung sind.

Implementierung und Ressourcenmanagement

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde die Möglichkeit zur Ausführung anspruchsvoller Echtzeit-Anwendungen in Linux nicht nur mithilfe einer

Virtualisierung auf OS-Ebene mit Containern, sondern auch mit VMs untersucht. Die Grundlage des Testsystems bildet ein Linux-Kernel mit einem PREEMPT-RT-Patch, der den Linux-Kernel um Echtzeitfähigkeiten erweitert. Auch wenn sich PREEMPT-RT nicht für sehr schnelle Echtzeit-Aufgaben mit Latenzanforderungen im Bereich von wenigen Mikrosekunden eignen mag, werden für Stationsautomatisierungsanwendungen in Wirklichkeit nur die realistisch erreichbaren Latenzen im Millisekundenbereich benötigt.

Um die in der Stationsautomatisierung erforderliche Echtzeit-Performance zu erreichen, muss die Schutzanwendung:

- die ankommenden Strom- und Spannungsmessungen unverzüglich erhalten,
- bei Bedarf garantierten Zugriff auf die Rechenhardware haben,
- Berechnungen innerhalb einer begrenzten Zeit durchführen und in der Lage sein, rechtzeitig eine Reaktion zu senden.

Diese Bedingungen schaffen verschiedene Herausforderungen für ein virtualisiertes System, bei dem sich mehrere Anwendungen dasselbe Hostsystem teilen.

Latenzherausforderungen

Die erste Hürde besteht darin, Prozessdaten rechtzeitig von den Merging Units (MUs) abzurufen. MUs fungieren als Schnittstellen, die Prozessdaten wie etwa Messwerte von Messwandlern und Meldungen und Alarme von Schaltanlagen empfangen. Der Schwerpunkt wurde hier auf digitale Unterstationen gelegt, bei denen Prozess- und Steuerdaten gemäß IEC 61850 über ein Ethernet-Netzwerk ausgetauscht werden. In solchen Fällen müssen sich mehrere

TIMESTAMP	SUBSTATION	DESCRIPTION	VALUE	IDENTIFIER
16.8.2022 08:49:36.929	NOO_VIRT2	Operate	True	LD0.DPHHPTOC12
16.8.2022 08:49:36.929	NOO2	Operate	True	LD0.DPHHPTOC12
16.8.2022 08:49:36.929	NOO_VIRT	Operate	True	LD0.DPHHPTOC12
16.8.2022 08:35:29.279	NOO_VIRT2	Operate	True	LD0.DPHHPTOC12
16.8.2022 08:35:29.279	NOO_VIRT	Operate	True	LD0.DPHHPTOC12
16.8.2022 08:35:29.279	NOO2	Operate	True	LD0.DPHHPTOC12
8.12.2021 14:22:28.039	NOO_VIRT	Operate	True	LD0.MFADPSDE17
8.12.2021 14:22:28.039	NOO_VIRT2	Operate	True	LD0.MFADPSDE17
8.12.2021 14:22:28.039	NOO2	Operate	True	LD0.MFADPSDE17

Anwendungen den physischen Netzwerkzugang mit virtualisierten Netzwerktechnologien wie einem virtuellen Switch oder Macvlan (ein Netzwerktreiber, der Softwarecontainer im physischen Netzwerk wie physische Geräte darstellt) teilen. Daher wurden ver-

und Weise, wie Netzwerktreiber Aufgaben auf einen späteren Zeitpunkt verschieben) erhebliche Stolpersteine im Hinblick auf einen Echtzeitbetrieb. Das finale System wurde entsprechend optimiert, um diese Stolpersteine zu umgehen. Zudem kann moderne Netzwerkhardware mit expliziten Virtualisierungsfunktionen zur Verbesserung der Situation beitragen.

Das Scheduling wird nicht wesentlich beeinflusst, wenn die Software in Containern auf modernder Hardware läuft.

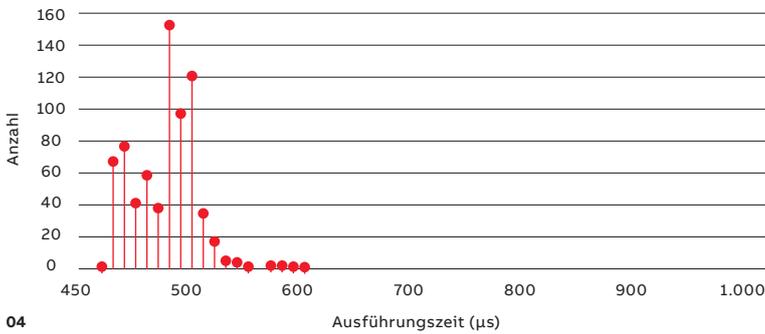
schiedene Möglichkeiten untersucht, eine virtuelle Umgebung mit dem physischen Hostnetzwerk zu verbinden. Die Untersuchung erfolgte mithilfe des virtuellen Produkts ABB Ability™ Smart Substation Control and Protection für elektrische Anlagen SSC600 SW.

Da gewöhnliche Netzwerk-Virtualisierungskonzepte nicht auf eine Optimierung der Latenz ausgelegt sind, ergaben sich (aufgrund der Art

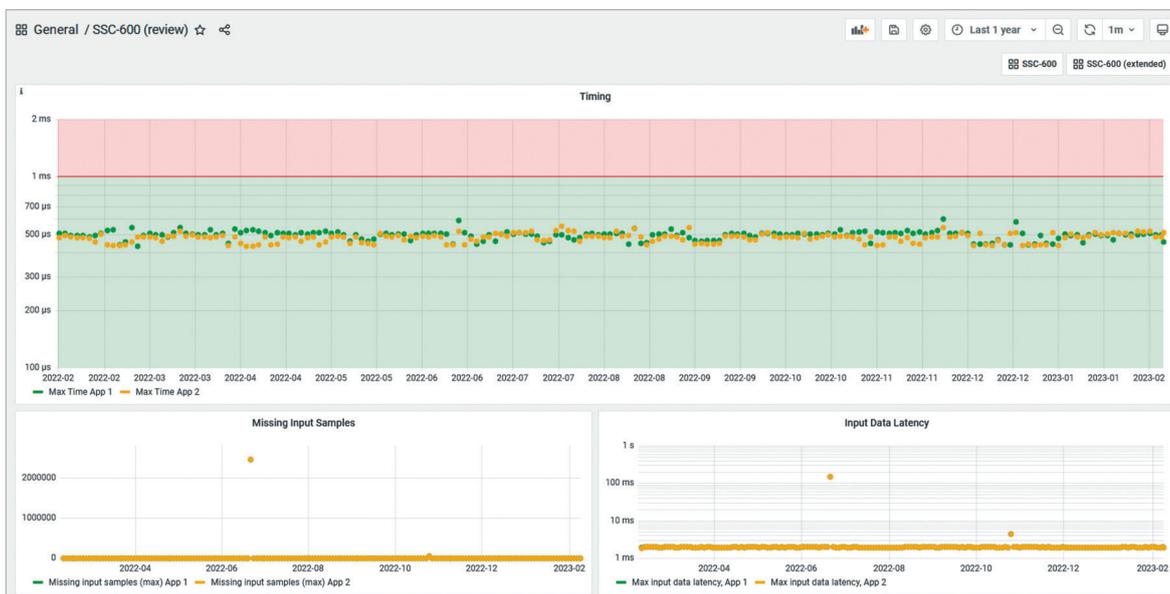
CPU-Zugriff, wenn erforderlich

Kommen die Daten rechtzeitig an, besteht der nächste Schritt zum Erreichen der notwendigen Echtzeit-Performance darin, dann Zugriff auf die CPU zu erhalten, wenn dies erforderlich ist. Die Ausführung von Prozessen zu planen (Prozess-Scheduling), gehört zu den Kernaufgaben jedes OS. Linux mit PREEMPT-RT bietet mehrere Echtzeit-Strategien und ermöglicht es der Schutzsoftware, anderen Anwendungen zuvorzukommen.

Es hat sich gezeigt, dass es das Scheduling – d. h. genau dann Zugriff auf die CPU zu bekommen, wenn es nötig ist – nicht wesentlich beeinflusst, wenn die Software in Containern auf modernder Serverhardware ausgeführt wird. Bei einem entsprechend konfigurierten System liegt hier nicht der Hauptengpass, zumindest was Latenzen von mehr als ein paar Dutzend Mikrosekunden angeht. Dennoch kann es sein, dass der Schutzprozess oder eine ganze VM von einer anderen Anwendung mit ähnlicher Priorität bzw. einer der vielen Verwaltungsaufgaben des OS blockiert wird. Es wurden verschiedene Strategien für die Zuteilung der CPU-Kerne untersucht. Potenziell gefährliche Konflikte wurden durch exklusive Zuordnung von CPU-Kernen zu Anwendungen und eine maximale Isolierung des OS auf



04



05

—
04 Die Ausführungszeiten zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Anforderungen.

—
05 Einhaltung der internen Zykluszeit: Die Ausführungszeiten der internen Funktionen erfüllten während eines gesamten Betriebsjahrs die Vorgaben (rote Linie).

—
06 Virtualisierung hilft Betreibern von Unterstationen dabei, Kosten zu reduzieren und die Herausforderungen einer sich rasch verändernden Stromnetztopologie zu bewältigen.

dedizierte CPU-Kerne vermieden. Exklusive Zuordnungen helfen zudem bei der korrekten Dimensionierung der Host-Hardware, um die Verfügbarkeit ausreichender Rechenressourcen für alle Anwendungen zu gewährleisten.

Die gewählte Strategie passt auch gut zu den hohen Anforderungen von Schutzalgorithmen an die Rechenleistung und die zumeist horizontale Skalierung moderner Hardware mit einer stetig steigenden Zahl von CPU-Kernen.

Speicheraspekte

Auch wenn die Berechnungen rechtzeitig beginnen und dedizierte CPU-Kerne verfügbar sind, können Störungen die Datenverarbeitung auf inakzeptable Weise verzögern. Bei datenintensiven Anwendungen wie Schutz- und Steuerungsfunktionen hängen die Ausführungszeiten stark von der Datenübertragung zwischen Speicher und CPU ab. Ein modernes System nutzt mehrere schnelle Zwischenspeicherebenen (Cache), um die Abrufzeiten für häufig genutzte Daten zu verkürzen. Leider

—
Der Test in Finnland zeigt, dass sich der Ansatz für den Einsatz im realen Umfeld eignet.

ist die Cachegröße begrenzt und bietet weiteres Störpotenzial zwischen Anwendungen mit hohen Datenlasten. Daher wurden Regeln zur Cache-Partitionierung und exklusiven Reservierung von Speicherbandbreite implementiert.

Mit einer sorgfältig durchdachten Ressourcenreservierung ist es möglich, virtuelle Echtzeit-Anwendungen vollständig voneinander zu isolieren und einen stabilen Betrieb mit rechtzeitigen Reaktionen für alle Anwendungen auf derselben Plattform zu gewährleisten.

Pilotinstallation und Performance

Nach ersten Machbarkeitsstudien und anschließenden Tests von virtuellen Schutz- und Steuerungsfunktionen im Labor erfolgte die Validierung im realen Umfeld.

Im Labor wurden die Schutzreaktionszeiten für das gesamte System in verschiedenen Konfigurationen und virtuellen Umgebungen bei unterschiedlichen Lasten gegen tatsächliche Signaleinspeisungen in Hardware-in-the-Loop-Tests und Echtzeit-Netzwerksimulationen geprüft. Bei allen Tests erwies sich das virtuelle System als erfolgreich und konnte den Anforderungen des entsprechenden Schutz- und Steuergeräts gerecht werden.



06

Nach den positiven Laborergebnissen begann ABB mit der Validierung im realen Umfeld in Zusammenarbeit mit einem der führenden finnischen VNBs. Dazu wurde ein IEC-61850-zertifizierter Server in einer Unterstation in der Provinz Westfinnland installiert →01. Dank sorgfältiger Ressourcenpartitionierung können auf dem Server zwei vollständig konfigurierte virtuelle SSC600-Instanzen parallel ausgeführt werden.

Seit der Inbetriebnahme im September 2021 erfüllen die Instanzen sämtliche funktionalen und zeitbezogenen Anforderungen des physischen SSC600. Ein Vergleich der Protokolle der (sehr wenigen) in der Station beobachteten Ereignisse zeigt, dass das Verhalten der virtuellen Instanzen perfekt mit dem des physischen Systems übereinstimmt →03. →04 zeigt einen wichtigen Performance-Index: die Einhaltung der internen Zykluszeit. Aus →05 wird deutlich, wie gut die Ausführungszeiten der internen Funktionen den Vorgaben (roter Grenzwert) entsprachen. Die sorgfältig konzipierte virtuelle Netzwerkschicht sicherte ein rechtzeitiges Eintreffen aller ankommenden Messwerte im normalen Betrieb ohne Verspätungen oder andere Verluste. Die einzigen beobachteten Paketverluste ereigneten sich während externer Datenunterbrechungen ohne Bezug zum virtuellen System.

Der Feldtest in Finnland hat erfolgreich gezeigt, dass sich der gewählte Ansatz zur Virtualisierung von Schutz- und Steuerungsfunktionen in der Stationsautomatisierung für den Einsatz im realen Umfeld eignet. Die Virtualisierung bietet Betreibern von Unterstationen eine Möglichkeit, Kosten zu senken, die Instandhaltung der Anlagen zu vereinfachen und eine rasch wachsende Zahl von erneuerbaren Energiequellen erfolgreich ins Netz zu integrieren →06. •

—

BESSERE SERVICEENTSCHEIDUNGEN MIT ABB ABILITY™ SMART MASTER

Der Zustandswächter

Genauigkeit, Compliance, Zustand, Fehlerdiagnose und Ausfallvorhersage sind wichtige Aspekte beim Betrieb von Feldgeräten. ABB Ability™ Smart Master ist eine Performance-Management-Plattform für Feldgeräte, die diese und andere Aspekte im Auge behält.

Feldgeräte sind die stillen Helden der Industrie. Sie messen, überwachen und steuern im Hintergrund, und ohne sie würden praktisch alle Industrien und Prozesse zum Stillstand kommen →01. Und da sie in so vielen Bereichen unentbehrlich sind, ist die Gesamtzahl der weltweit installierten Feldgeräte immens – und es werden täglich mehr.

Schätzungen zufolge wird allein der Markt für Durchflussmesser bis zum Jahr 2026 über 10 Mrd. USD wert sein, was vornehmlich auf die weltweit zunehmende Wasser- und Abwasserreinigung, Wasserverbrauchsmessung und Leckagereduzierung zurückzuführen ist [1]. Der Markt für Füllstand-Messumformer soll aufgrund der



Sabyasachi Bhattacharyya
ABB Instrumentation
Bangalore, Indien

sabyasachi.bhattacharyya@in.abb.com

—

ABB Ability Smart Master ist eine Asset-Performance-Management-Plattform für Feldgeräte.

steigenden Nachfrage in der Pharmaindustrie sowie im Nahrungsmittel- und Getränkesektor bis zum Jahr 2025 einen Wert von 3,5 Mrd. USD erreichen [2]. Für den Temperatursensormarkt wird bis zum Jahr 2025 ein Anstieg auf über 7,8 Mrd. USD (von 5 Mrd. USD im Jahr 2018) erwartet [3].

Nimmt man andere gängige Feldgeräte wie Drucksensoren, Ventilstellungsregler usw. hinzu, wird deutlich, wie riesig der weltweit installierte Bestand an Feldgeräten tatsächlich ist. Einer der bedeutendsten Anbieter auf diesem Milliardenmarkt ist ABB.



Ayyanar Kavithasan
Measurement & Analytics
Bangalore, Indien

ayyanar.kavithasan@in.abb.com

Genauigkeit, Compliance, Zustandsüberwachung und Fehlerbehandlung sind nur einige der entscheidenden Aspekte für die Leistungsfähigkeit eines Feldgeräts. Um all dies bei einem großen installierten Bestand effektiv im Blick zu behalten, sodass sich der Kunde auf sein Kerngeschäft konzentrieren kann, ist eine umfassende Asset-Performance-Management-Plattform erforderlich.

Die Asset-Performance-Management-Plattform für Feldgeräte von ABB heißt ABB Ability Smart Master.

ABB Ability Smart Master

Der Funktionszustand eines Messgeräts wird bestimmt durch:

- die Genauigkeit der Messung
- die Einhaltung geltender Vorschriften
- zulässige Betriebsgrenzen
- eine valide Installation
- eine effektive Diagnose bisheriger Geräteausfälle und Vorhersage potenzieller zukünftiger Ausfälle

Hat ein Kunde Zugang zu umfassenden Informationen über diese Eigenschaften, kann er eine fundierte Entscheidung darüber treffen, wann ein Gerät zu warten ist. Außerdem weiß er, wann vorgeschriebene Prüfungen fällig sind, und kann abschätzen, wann bzw. wie es zu einem Ausfall kommen könnte. So lassen sich der Betrieb und die Wartung wesentlich effektiver planen.

ABB Ability Smart Master macht diesen verbesserten Serviceansatz über den riesigen installierten Bestand an ABB-Messgeräten hinweg möglich.



01

— 01 Feldgeräte spielen eine bedeutende Rolle in den meisten industriellen Prozessen. So auch beim Mischen von Komponenten in der hier gezeigten pharmazeutischen Produktionslinie.

Remote-Konnektivität und Fernüberwachung werden ebenfalls vereinfacht – Fähigkeiten, die nützlich sind, wenn schnelle Abhilfemaßnahmen oder Analysen durch Experten gefragt sind oder der Zugang zur Anlage durch die geografische Lage oder Reisebeschränkungen erschwert wird.

Smart Master erfasst Daten von Messgeräten und bietet eine Dashboard-Übersicht über die angeschlossenen Geräte mit Informationen zu deren Funktionszustand →02. Dieses Wissen hilft Kunden mit und ohne

—
Smart Master bietet eine Dashboard-Übersicht über die angeschlossenen Geräte.

ABB-Serviceunterstützung dabei, Servicehandlungen, Ersatzteilbestellungen und den Austausch von Geräten besser zu planen. Die Datenerfassung und -analyse kann abhängig von den regulatorischen und betrieblichen Anforderungen der jeweiligen Anlage täglich, wöchentlich oder monatlich erfolgen.

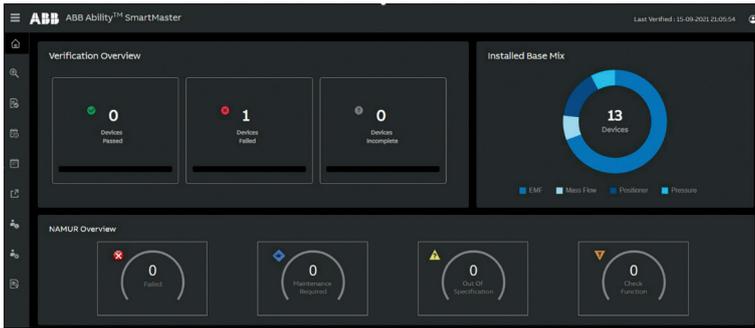
Da sich der Ersatzteil- und Servicebedarf viel früher vorhersagen lässt, können Anlagenstillstände verkürzt oder gänzlich vermieden werden. Zeichnet sich ein Ausfallmuster ab, liefern eine Kalenderanalyse und ein Analysebericht einen genaueren Einblick in die Ausfallszenarien →03–04. Bei vielen Problemen bietet Smart Master Unterstützung zur Fehlersuche und -behebung, ohne dass der Nutzer sich durch Handbücher blättern muss.

Einhaltung geltender Vorschriften

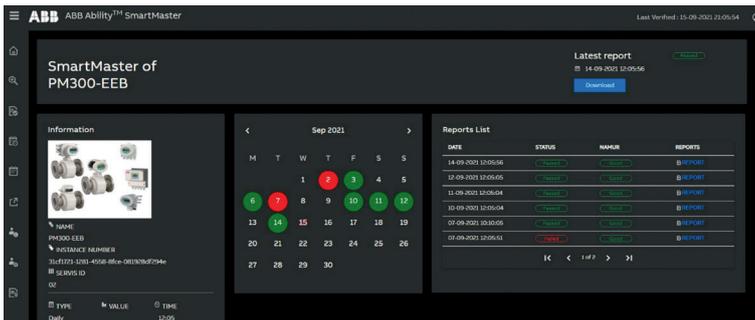
Um die notwendige Messqualität bzw. Integrität des Endprodukts sicherzustellen, müssen die Geräte bestimmte branchenspezifische Vorschriften erfüllen. Die Sicherung dieser Compliance ist mit erheblichen Kosten verbunden. ABB Ability Smart Master hilft dabei, diese Kosten zu mindern, indem das System die Möglichkeit bietet, bestimmte Handlungen vorab aus der Ferne durchzuführen, was den Kalibrierungs- und Zertifizierungsaufwand bei der späteren Bereitstellung und Inbetriebnahme reduziert.

Mehrstufige Lösung

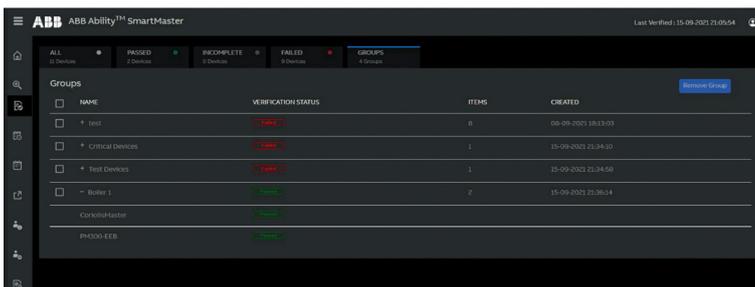
Smart Master bietet eine dreistufige Lösung zur Überwachung des Funktionszustands installierter Geräte:



02



03



04

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

Konnektivität

In vielen Fällen kommen Messgeräte an entlegenen Orten – zum Beispiel in einem Wasserversorgungsnetz – zum Einsatz, an denen keine physische Netzwerkverbindung besteht. Auch kann es sein, dass die Geräte tief unter den Schichten eines DCS oder Prozessleitsystems

verborgen sind. Sollen solche isolierten Geräte erfolgreich in die fortschreitende digitale Transformation der Industrie eingebunden werden – eine Entwicklung, die keinen vollständigen

Smart Master ermöglicht Kunden bessere Serviceentscheidungen hinsichtlich ihrer Messgeräte.

Umbau traditioneller Netzwerke zulässt – müssen diese effektiv mit minimaler Verdrahtung und einem Minimum an zusätzlicher Hardware erreicht werden.

In solchen Fällen können Geräte mithilfe der FDI-Technologie (Field Device Integration) ohne zusätzliche Verdrahtung oder Störung des aktuellen Betriebs in Smart Master integriert werden →05. Eine Anbindung per 3G/4G und Narrow-Band-IoT (NB-IoT) ist ebenfalls möglich →06. In Ländern, in denen die direkte Übermittlung von Daten in die Cloud Beschränkungen unterliegt, erfolgt die Datenübertragung über den Telekommunikationsanbieter.

Die Integration der Geräte kann auch über eine intelligente Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) erfolgen. Dabei bleibt die Verbindung des Geräts mit dem Leitsystem als solches erhalten, aber es wird eine parallele Bluetooth-Kommunikation für digitale Lösungen ermöglicht →07.

Bessere Serviceentscheidungen

Angesichts solch eines riesigen installierten Bestands an Feldgeräten stellt Smart Master eine umfassende Asset-Performance-Management-Plattform bereit, die es ABB-Kunden ermöglicht, bessere Serviceentscheidungen hinsichtlich ihrer Messgeräte zu treffen.

Smart Master überwacht alle angeschlossenen Geräte und liefert einen vollständigen Überblick über Status, Zustand und Wartungsbedarf auf einer übersichtlichen Bedienoberfläche. Ganz gleich, ob die Verarbeitung vor Ort oder in der Cloud erfolgt, mit den von Smart Master erfassten und analysierten Daten kann sich der Kunde beruhigt um sein Tagesgeschäft kümmern – wohl wissend, dass das Servicemanagement seiner Feldgeräte in guten Händen ist. •

02 ABB Ability Smart Master bietet eine Dashboard-Übersicht über die angeschlossenen Geräte und deren Funktionszustand.

03 Eine Kalenderanalyse und ein detaillierter Analysebericht liefern Informationen über periodische Ausfälle oder Schwankungen im Gerätezustand.

04 Auf verschiedenen Registern zeigt Smart Master Informationen zum Gerätestatus an.

05 ABB Ability Smart Master verbindet sich zur Datenerfassung mit dem FDI-Server.

06 Integration von Geräten (hier Durchflussmessern) an entlegenen Orten über 3G/4G- und NB-IoT-Kommunikation.

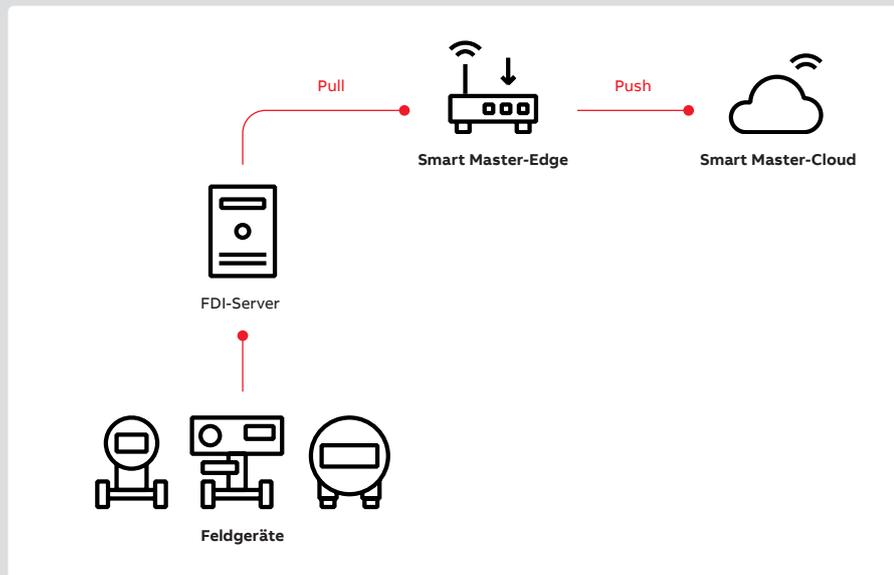
07 Integration von Geräten über die intelligente HMI.

Literaturhinweise

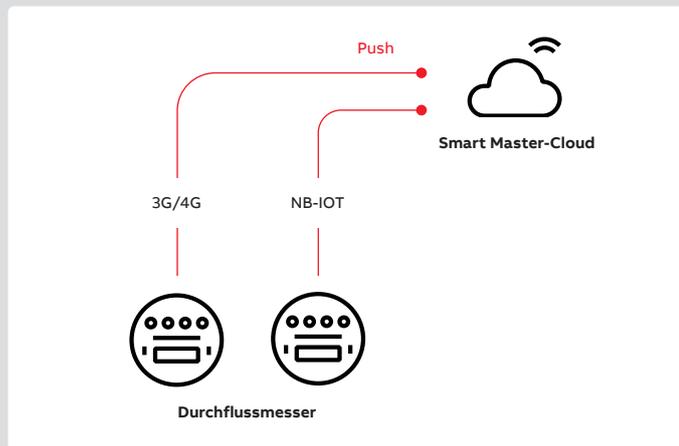
[1] Markets and Markets: „Flow Meters Market by Type“. Verfügbar unter: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/flow-meters-market-1191.html> (abgerufen am 19.09.2022).

[2] Markets and Markets: „Level Transmitter Market by Technology“. Verfügbar unter: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/level-transmitter-market-23472700.html> (abgerufen am 19.09.2022).

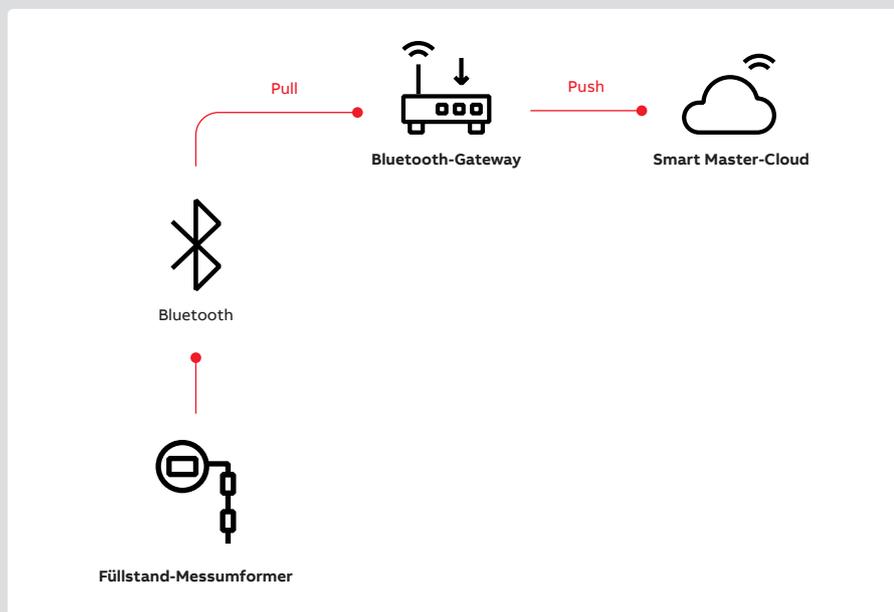
[3] Fortune Business Insights: „Temperature Sensor Market“. Verfügbar unter: <https://www.fortunebusinessinsights.com/temperature-sensor-market-102434> (abgerufen am 19.09.2022).



05



06



07



01



Naveen Kumar
Motion-Device Products,
Software Tools
Bangalore, Indien

naveenkumar.e@
in.abb.com



Sunil Kumar S
Motion-Device Products
Bangalore, Indien

Sunilkumar.x.s@
in.abb.com

—
ABB ACCESS BIETET ZUGANG ZU VIELFÄLTIGEN
INFORMATIONEN

Der direkte Draht

In Übereinstimmung mit den Ökodesign-Anforderungen der Europäischen Union hat ABB eine QR-Code-basierte digitale Plattform ins Leben gerufen, die bequemen Zugang zu Informationen über ABB-Produkte bietet.

Dank einer neuen Plattform können Techniker, Inbetriebnahmeingenieure, Kunden und Vertriebspartner nun zum Beispiel mithilfe eines Smartphones durch einfaches Scannen eines QR-Codes auf einem ABB-Gerät auf vielfältige Informationen zu Frequenzumrichtern, Motoren und SPS von ABB zugreifen →01. Ermöglicht wird dies durch ABB Access, eine responsive Web-

Die Web-Anwendung ist darauf ausgelegt, Nutzer mit Grundkenntnissen bei der Selbsthilfe zu unterstützen.

Anwendung, die Nutzer mit produktspezifischen Informationen wie Handbüchern, Installationsanleitungen und Schritt-für-Schritt-Anleitungen zur Inbetriebnahme und Fehlerbehebung verbindet.

Zudem bietet die Web-Anwendung Nutzern schnellen und einfachen Zugang zu fachkundigem Support durch ABB-Experten und ermöglicht die Meldung und Lösung von Problemen vor Ort. Dabei entspricht ABB Access der Norm DIN SPEC

91406:2019-12, was OEMs und Endnutzern das Lesen von QR-Codes mithilfe handelsüblicher Hard- und Software erleichtert. Das Ergebnis ist eine schnellere Fehlerbehebung, verbunden mit einer höheren Verfügbarkeit und kürzeren Ausfallzeiten, sowie ein einheitliches Nutzererlebnis über verschiedene ABB-Produkte hinweg. Da die Web-Anwendung darauf ausgelegt ist, Nutzer mit Grundkenntnissen bei der Selbsthilfe zu unterstützen, steht den Experten mehr Bandbreite zur Behandlung größerer Probleme zur Verfügung. Darüber hinaus hilft ABB Access dem Nutzer bei der Reduzierung seines CO₂-Fußabdrucks, indem sie den Druck von Broschüren, Katalogen, Handbüchern, Hardwareanweisungen, Installationsanleitungen usw. überflüssig macht und dafür sorgt, dass stets die neueste Version dieser Informationen verfügbar ist und bei Bedarf auf jedem autorisierten Gerät gespeichert, gesichert und heruntergeladen werden kann.

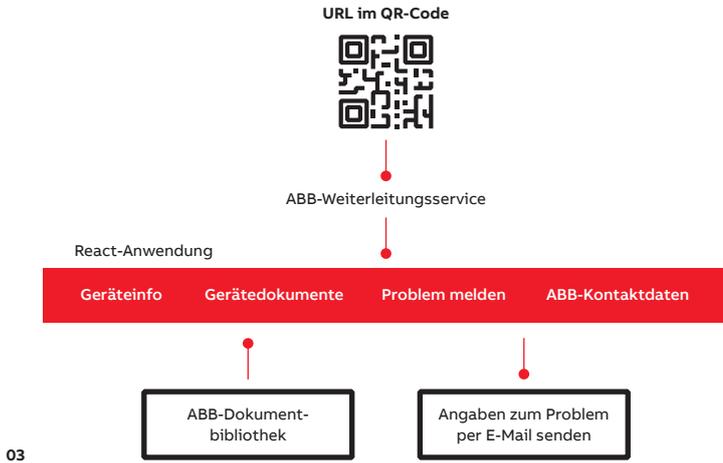
Ein Star wird geboren

Die neue Plattform ist das Ergebnis umfangreicher Bemühungen, die unter anderem eine QR-Code-Initiative und die Entwicklung eines Prototyps für eine Web-basierte Benutzeroberfläche umfassten. In dieser Phase des Projekts wurden Anwendungsfälle für Frequenzumrichter, Motoren und SPS gesammelt. Zeitgleich erfolgte

01 ABB Access ermöglicht einen einfachen Zugang zu Geräteinformationen per QR-Code.

02 Gerätespezifische QR-Codes werden bei der Produktherstellung angebracht.

The image illustrates the integration of physical and digital information for an ABB inverter. On the left, the front panel (Vorderseite) and typeplate (Typenschild) are shown. The front panel features a QR code and technical specifications: ACS580-01-145A-4 J425, Input U1 3~ 380/480 VAC, Output U2 3~ 0...U1, and a power rating of Pn:75 kW/100 hp. The typeplate includes a QR code, a barcode, and the same technical details. A red dashed box highlights the QR codes on both the front panel and the typeplate, with a note stating they are identical. On the right, a screenshot of the ABB Access web application shows the 'Detailed Information' page for the ACS580-01-145A-4 Pn: 75 kW, IN: 145 A. The page includes a product image, general information (Product ID, ABB Type Designation, EAN), categories, and an ordering section with fields for Country of Origin, Customs Tariff Number, EAN, Invoice Description, and Minimum Order Quantity.



03

die Konzeption und Entwicklung des Prototyps für das QR-Code-Ziel. Außerdem wurden erste Mock-ups der Web-Anwendung erstellt, um festzustellen, welche Elemente priorisiert werden sollten und wie der Ablauf des Kundenerlebnisses aussehen soll.

Ende 2020 wurde ein Funktionsmodell implementiert, an dem sich der Ablauf des Kundenerlebnisses vom Scannen eines QR-Codes bis zum Auffinden der richtigen Dokumente zu einem bestimmten Produkttyp, zum Melden eines Problems bzw. zum Auffinden der richtigen Kontaktinformationen für einen bestimmten Standort nachvollziehen ließ.

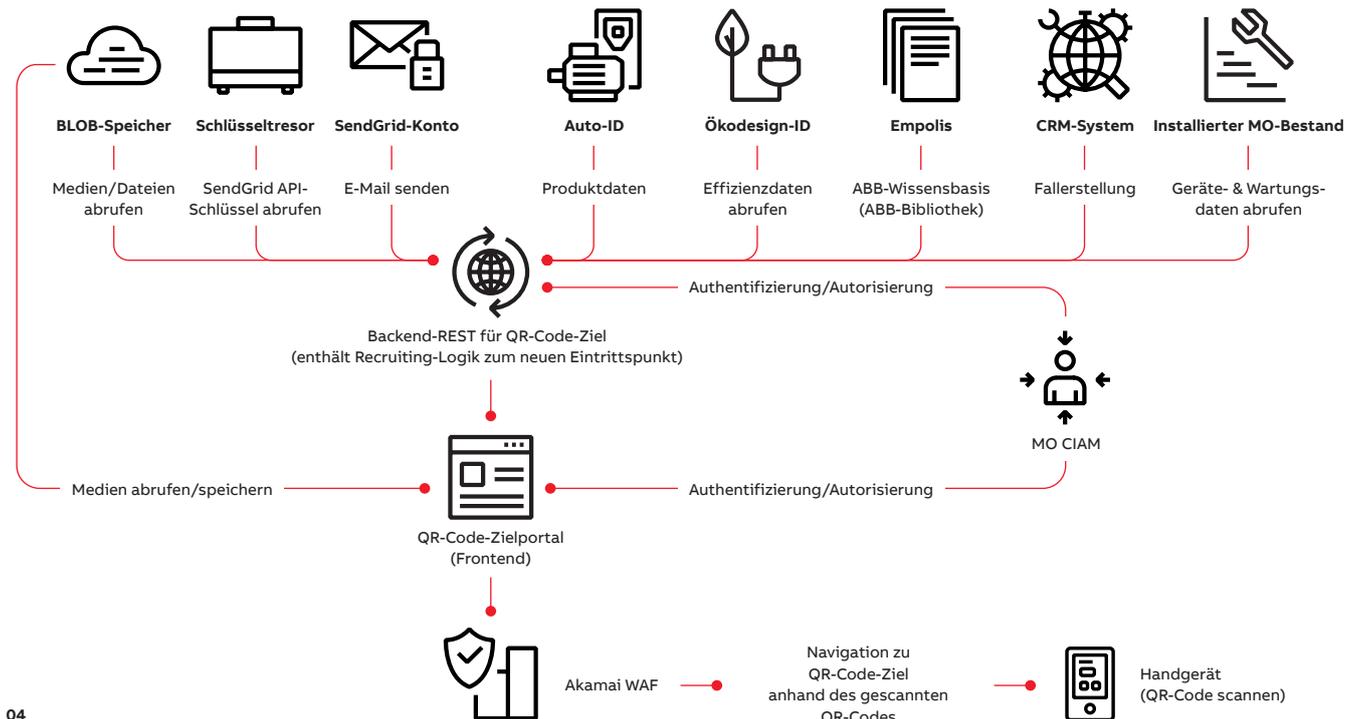
Ungefähr ein Jahr später wurde ein erstes MVP (Minimum Viable Product) pilotiert und getestet. Dies lieferte die Grundlage für die Implementierung des Produkts sowie eine umfassende Reihe von Anforderungen für zukünftige Erweiterungen. Das erste Release des Produkts erfolgte im Frühjahr 2022.

So funktioniert ABB Access

Die ABB Access Web-Anwendung dient ABB Motion-Drive-Kunden als Kanal für den Zugriff auf digitale Services mithilfe ihrer täglich genutzten mobilen Geräte. Durch das Scannen eines auf einem

— ABB Access speichert keine Nutzerinformationen, was zur Zuverlässigkeit und Sicherheit beiträgt.

ABB-Gerät angebrachten QR-Codes gelangt der Nutzer zu einer Seite, die relevante Dokumente, die Möglichkeit zur Meldung eines Problems sowie verschiedene andere Funktionen bereitstellt →02. Die gerätespezifischen QR-Codes werden bei der Fertigung des jeweiligen Produkts angebracht.



04



05

— 03 Der QR-Code enthält die URL für das betreffende Gerät. Diese wiederum enthält die Produkt-ID und Seriennummer des Produkts.

— 04 Die Architektur von ABB Access.

— 05 Nach dem Scannen eines QR-Codes wird der Nutzer mithilfe der Auto-ID-Funktion zu ABB Access weitergeleitet.

Die Anwendung bietet zwei verschiedene Abläufe – für anonyme Nutzer und für authentifizierte Nutzer. Für den anonymen Weg ist keine Authentifizierung erforderlich. Authentifizierte Nutzer werden mithilfe des MO CIAM (Motion Customer Identity and Access Management) identifiziert.

— Die Akamai WAF-Firewall ist darauf ausgelegt, Cyber-, Phishing und Cross-Site-Angriffe zu verhindern.

Das MO CIAM basiert auf OpenID Connect, das wiederum auf dem OAuth-2.0-Protokoll, einem offenen Standard zur Delegation von Zugriffsrechten, aufbaut.

Auch wenn eine Autorisierung für anonyme Nutzer nicht erforderlich ist, erhalten authentifizierte

Nutzer einige zusätzliche Informationen. Für ABB-interne Nutzer sind zum Beispiel zusätzliche Dokumentationen wie Verdrahtungspläne sichtbar. Die Web-Anwendung selbst ist mithilfe eines React-Frontends →03, das als Azure Static Web App läuft, und eines C#-Dotnet-Backends, das als Azure Function läuft, implementiert. Die Anwendung kommuniziert mit der ABB-Wissensbasis, um Gerätedokumentation und Handbuchinhalte abzurufen.

Für zukünftige Releases sind weitere Verbesserungen zur Bereitstellung von Daten zum installierten Bestand, zum Produktmaster, zu Serviceereignissen, zu Störfällen und zur Projektdokumentation vorgesehen. Darüber hinaus soll die Anwendung mit dem Asset-Lifecycle-Management (ALM) kommunizieren, um Daten von DIB, MoR, ServIS, BOL, PowerTrain und anderen Datenbanken zu empfangen.

Architektur und Sicherheit

Die Architektur von ABB Access →04 basiert auf einer Programmierschnittstelle vom Typ REST-

API (Representational State Transfer Application Programming Interface). Nach dem Scannen eines QR-Codes wird der Nutzer mithilfe der Auto-ID-Funktion zu ABB Access weitergeleitet →05. Anschließend werden die Daten über eine responsive Benutzeroberfläche bereitgestellt.

Die ABB Drivetune-App ermöglicht eine drahtlose Einstellung, Inbetriebnahme und Fehlerbehebung.

ABB Access kommuniziert auch mit anderen ABB-internen Datendienstleistern, um – unter Einhaltung der gängigen Grundsätze und Richtlinien zur Datensicherheit – entsprechende Informationen für verschiedene ABB-Produkte zur Verfügung zu stellen. ABB Access speichert keinerlei Nutzerinformationen im Cache oder in Datenbanken, was ebenfalls zur Zuverlässigkeit und Sicherheit beiträgt.

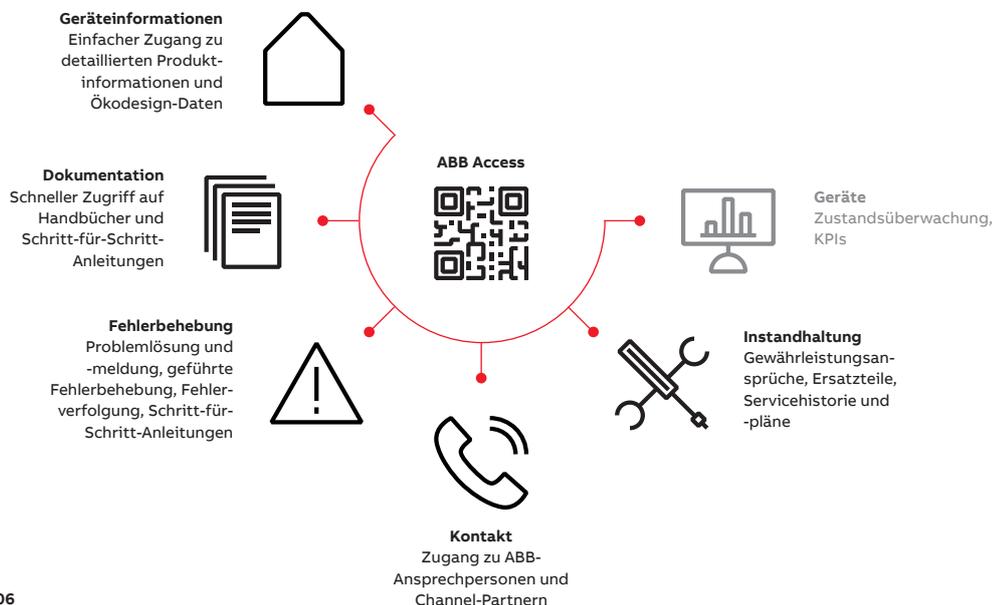
Die Sicherheit wird gewährleistet durch eine Akamai Web Application Firewall (WAF), die darauf ausgelegt ist, Cyber-, Phishing- und Cross-Site-Angriffe zu verhindern, die durch Malware-Scams verursacht werden können. Zudem durchläuft ABB Access vor jeder größeren Freigabe für eine Produktionsumgebung DSAC-, WAF- und WAS-Scans, um potenzielle Bedrohungen oder Schwachstellen zu erkennen.

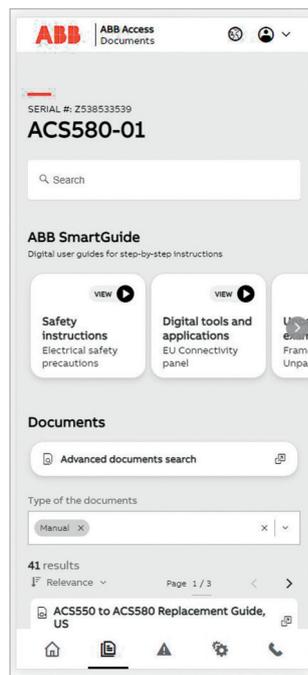
Geräteinformationen

ABB Access umfasst fünf Hauptbereiche: Geräteinformationen, Dokumentation, Fehlerbehebung, Kontaktinformationen und Instandhaltung →06. Die entsprechenden Seiten stehen auf sechs Sprachen – Englisch, Chinesisch, Spanisch, Französisch, Deutsch und Italienisch – zur Verfügung. Die Geräteinformationsseite bietet einfachen Zugang zu aktuellen Produktinformationen. Hier kann auch die mobile ABB Drivetune-App heruntergeladen werden, die eine drahtlose Einstellung, Inbetriebnahme und Fehlerbehebung von Frequenzumrichtern über ein mobiles Endgerät ermöglicht. Ein spezielles Register bietet Zugang zu Produktkataloginformationen, Katalogbeschreibungen und Bestellinformationen. Außerdem können Angaben zu den technischen Spezifikationen wie Herkunftsland, Cn8-Codes, Zolltarifnummern, EAN-Nummern, Kurz- und Langbeschreibungen, Bestellmengen, Verkaufsmengeneinheiten, Ökodesign-Daten, Marketingbeschreibungen sowie zusätzliche Informationen wie Produktabmessungen, Klassifizierungs- und Umweltinformationen angezeigt werden.

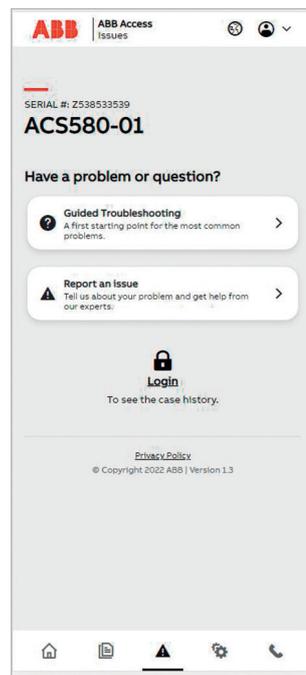
Dokumentation

Die Dokumentenseite bietet einfachen Zugang zu Daten und Handbüchern zur schnellen Problemlösung. Hier sind die ABB SmartGuides →07 eine praktische Quelle für klare visuelle Anweisungen. Einfache und animierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen helfen bei der Wandmontage, der elektrischen Installation und der Programmierung von Frequenzumrichtern. Außerdem gibt es eine erweiterte Dokumentsuche, die alle relevanten Dokumente zu den gescannten Seriennummern

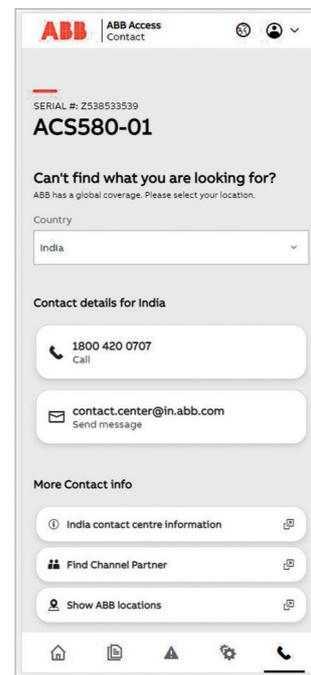




07



08



09

06 ABB Access umfasst fünf Hauptbereiche: Geräteinformationen, Dokumentation, Fehlerbehebung, Kontaktinformationen und Instandhaltung.

07 Die SmartGuides auf der Dokumentenseite bieten kurze, klare, visuelle Anweisungen.

08 Auf der Seite zur Fehlerbehebung finden sich Schritt-für-Schritt-Anleitungen zur Identifizierung von Problemursachen.

09 Die Kontaktseite zeigt landesspezifische Kontaktinformationen.

von Produkten oder Geräten auflistet. Dazu gehören unter anderem Firmware-Handbücher, Hardware-Handbücher, Kataloge, Normen, Arbeitsanweisungen, Sicherheitsvorschriften, Wartungschecklisten, Benutzerhandbücher, dazugehörige Kommunikationsmodule und Installationsanleitungen.

Fehlerbehebung

Die Seite zur Fehlerbehebung →08 bietet Nutzern Zugang zu Expertenhilfe durch Meldung eines Problems und die Möglichkeit zum Einsehen einer Fallhistorie. Außerdem können hier Schritt-für-Schritt-Anleitungen zur Bestimmung von Problemursachen abgerufen, ABB-Servicevertreter kontaktiert oder Fehler- bzw. Warncodes eingegeben werden, um Ursachen und mögliche Abhilfemaßnahmen zu bestimmen.

Kontakt

Über die Kontaktseite →09 können Nutzer ABB und Serviceansprechpartner erreichen, detaillierte länderspezifische Kontaktinformationen einsehen, Channel Partner finden und Kontaktnummern und E-Mail-Adressen von ABB-Standorten weltweit abrufen.

Instandhaltung

Die Seite zur Instandhaltung umfasst eine Vielzahl von Informationen zu ABB Motion-Produkten einschließlich Wartungshistorie, Gewährleis-

tungsinformationen, Ersatzteilinformationen, vorgesehene Wartungspläne, Nutzerklassifikationen, Gateway für digitalen Ausweis und zusätzliche seriennummernbasierte Informationen für Nutzer mit besonderem Zugang.

Eine Ausweitung der Plattform auf andere Geschäftsbereiche wie Industrieautomation und Robotik ist vorgesehen.

Die Anzahl der täglichen Nutzer von ABB Access ist stetig gestiegen. Seit dem ersten Release im Frühjahr 2022 wurden 28.000 Sessions auf der Plattform registriert, und die durchschnittliche Zahl der täglichen Nutzer liegt bei etwa 200. Tatsächlich ist die Plattform so erfolgreich, dass eine baldige Ausweitung auf andere bedeutende ABB-Geschäftsbereiche wie Industrieautomation und Robotik vorgesehen ist. •

Weitere Informationen:

<https://new.abb.com/drives/mobile-tools/abb-access>



Assets in Bewegung





Mobile Betriebsmittel müssen in Bewegung sein, um ihren Zweck zu erfüllen. Dazu bedarf es der richtigen Verbindungen. Sei es zum effizienten Laden von E-Fahrzeugen oder zur besseren Erkennung der Umgebung – diese Verbindungen sorgen dafür, dass die Assets optimal funktionieren. Erweitertes Wissen leistet dabei einen entscheidenden Beitrag.

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



CO₂-EMISSIONEN AUS DER PRODUKTION UND NUTZUNG
VON E-FAHRZEUG-BATTERIEN

Saubere Sache?

—
Daniel Chartouni,
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil, Schweiz

daniel.chartouni@
ch.abb.com

Srinidhi Sampath
ABB Corporate Research
Västerås, Schweden

srinidhi.sampath@
se.abb.com

Silvio Colombi
ABB ELSP Smart Power
Quartino, Schweiz

silvio.colombi@
ch.abb.com



Angesichts der Elektrifizierung im Verkehrssektor rückt die Frage nach der Nachhaltigkeit der in batterieelektrischen Fahrzeugen (BEVs) verbauten Batterien zunehmend in den Fokus. Wie groß ist der CO₂-Fußabdruck eines BEVs einschließlich Batterie über die gesamte Lebensdauer hinweg im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (ICE)?

—
01 Auf der Straße holen BEVs gegenüber Verbrennern mächtig auf. Doch wie sieht es mit dem CO₂-Fußabdruck der Batterien aus?

Im Rahmen der allgemeinen Bemühungen zur Dekarbonisierung investieren die meisten Automobilhersteller verstärkt in die Elektrifizierung ihrer Produktlinien – wodurch die Nachfrage nach Batterien in Zukunft auf mehrere Hundert GWh im Jahr steigen dürfte.

Doch seit der Einführung von BEVs ist der Nachhaltigkeitsaspekt der Batterieproduktion – ebenso wie die Nachhaltigkeit der Fahrzeugproduktion selbst – ein heiß diskutiertes Thema. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass eine Batterie, auch wenn sie nicht unbedingt nachhaltig

—
Verglichen wurden unter anderem die bei der Fahrzeugherstellung anfallenden CO₂-Emissionen.

an sich ist, etwas anderes nachhaltig betreiben kann. Es bleibt jedoch die Frage, ob BEVs über ihre Lebensdauer hinweg nachhaltiger sind als herkömmliche Verbrennerautos, wenn man den gesamten CO₂-Fußabdruck ihrer Herstellung einschließlich der Batterie in Betracht zieht →01.

Um diese Frage zu beantworten, hat ABB zwei Pkw gleicher Größe (Fünfsitzer) miteinander verglichen: ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor in Form eines Volkswagen Golf GTD und ein BEV in Form eines Volkswagen ID.4. Verglichen wurden unter anderem die bei der Herstellung der Fahrzeuge anfallenden CO₂-Lebenszyklusemissionen. Außerdem wurden Daten zu den mit der Kraftstoffbereitstellung verbundenen Emissionen (Well-to-Tank) und den Abgasemissionen des Verbrenners erfasst. Für das BEV wurden die mit der Batterieherstellung und dem lebenslangen Stromverbrauch verbundenen Emissionen ermittelt [1,2].

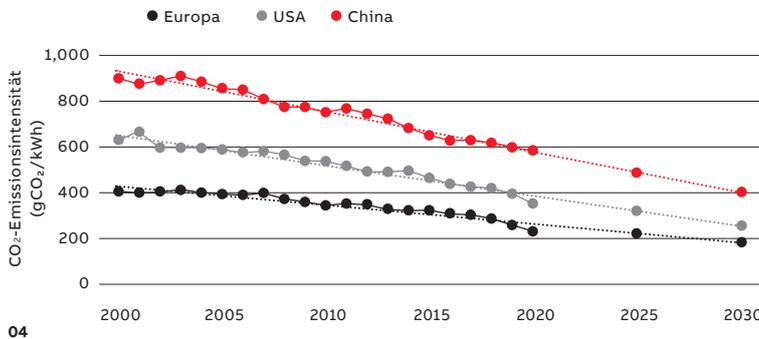
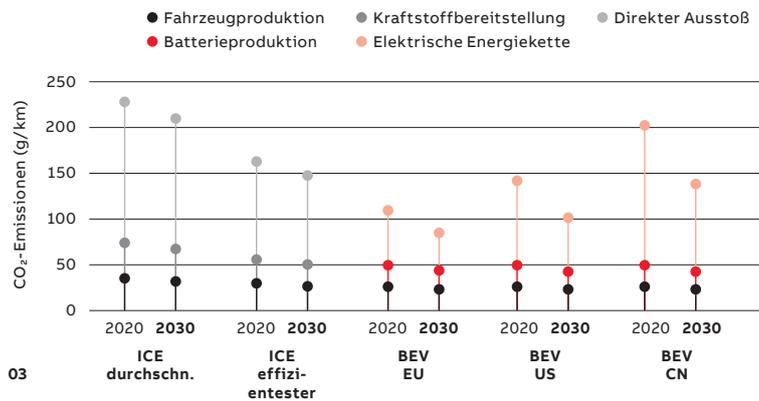
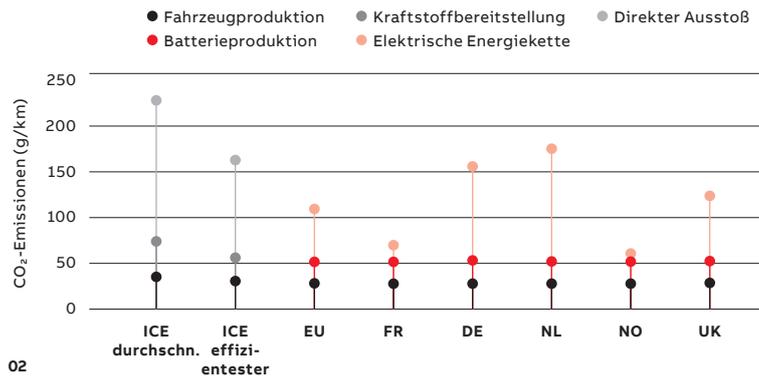
Diese Emissionen wurden ausgehend von einer Fahrzeuglebensdauer von 240.000 km in Gramm CO₂-Äquivalent pro gefahrenem Kilometer (gCO₂eq/km) umgerechnet. Als Vergleichsgrundlage wurden die Daten von Verbrennerfahrzeugen (ICEs) mit durchschnittlicher und der höchsten Effizienz herangezogen. Außerdem wurde von einer stetig steigenden BEV-Batteriekapazität bis zum Jahr 2030 ausgegangen. Wenn verfügbar, wurden veröffentlichte Daten herangezogen [3] und mit Trendschätzungen von ABB zu den Jahren 2015 bis 2030 kombiniert →02–03. Bei der Schätzung der Werte für die Fahrzeugproduktion und den direkten Ausstoß von Verbrennungsmotoren wurden zum Beispiel jährliche Verbesserungen von bis zu einem Prozent angenommen.

Batterieherstellung und -nutzung

Die bei der Herstellung der BEV-Batterie und der Fahrzeugnutzung anfallenden Emissionen wurden detailliert geschätzt. Dabei wurde von einer Lithium-Ionen-Batterie vom Typ NMC (Nickel-Mangan-Kobalt) ausgegangen. NMC-Batterien sind weit verbreitet und besitzen eine höhere Energiedichte als Batterien mit anderen Zellchemien. Die Materialien für die Batterie, die Zellenfertigung sowie die Montage der Module und Packs wurden bei der Untersuchung ebenfalls berücksichtigt. Weitere Szenarios wurden auf der Grundlage einer steigenden Batterieenergiedichte geschätzt.

Im Hinblick auf die Nutzungsphase des BEV wurden die stromnetzbezogenen CO₂-Emissionen für die EU, die USA und China linear von 2020 bis 2030 extrapoliert [4,5]. Da die Emissionswerte für 2020 von der Corona-Pandemie beeinflusst waren, wurden die Werte für dieses Jahr anhand der Entwicklung in den Jahren 2000 bis 2021 ermittelt.

Den Emissionen wurden weitere 25 Prozent hinzugerechnet, um vorgelagerte Verluste bei der Stromerzeugung, -übertragung und -verteilung zu berücksichtigen [6]. Der gleiche Wert wurde für die Emissionen zur Kraftstoffbereitstellung verwendet. Ferner wurde beim Stromverbrauch



des BEV während der Nutzungsphase von einer jährlichen Verbesserung von 0,85 Prozent, verbunden mit einem Wirkungsgrad beim Laden von 95 Prozent, ausgegangen. Diese Zahlen und Prozentsätze spiegeln eine realistische Einschätzung sämtlicher Beiträge zu den Emissionen über den Lebenszyklus eines Pkw hinweg wider.

Die hier beschriebene Analyse betrachtet ausschließlich den CO₂-Fußabdruck des Autos in gCO₂/km über seine Lebensdauer hinweg. Nicht berücksichtigt wurden Aspekte, die die Attraktivität von BEVs erhöhen, wie etwa:

- Verbesserung der Luftqualität in von Abgasemissionen stark betroffenen Stadtgebieten
- Verkehrsstaus, bei denen Verbrennungsmotoren auch im Leerlauf Emissionen erzeugen

- Andere Formen der Verschmutzung wie Stickoxide (NO_x), Kohlenstoffpartikel in Abgasen, Bremsstaub (der bei BEVs durch das regenerative Bremsen reduziert wird), Ölverlust usw.

Datenanalyse

Es hat sich gezeigt, dass sowohl bei Verbrennern als auch bei BEVs die meisten Emissionen in der Nutzungsphase anfallen. Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor sind es die Abgas- oder direkten Emissionen, bei BEVs die Emissionen der elektrischen Energiekette (Stromerzeugung). Letztere sind aufgrund des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien tendenziell rückläufig, wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung in den bei dieser Studie betrachteten Regionen und Ländern →04.

In der Batterieproduktion wird die meiste Energie zur Herstellung des NMC-Pulvers und des Aluminiums für die Module und Packs sowie zur Trocknung und Lagerung der in der Batterie verwendeten gemischten und beschichteten Pulver benötigt [7–10].

Die Studie hat gezeigt, dass beim Vergleich der CO₂-Emissionen von BEVs und Verbrennern die jeweilige Region bzw. das Land eine bedeutende Rolle spielt. So schneiden BEVs in der EU oder den USA schon jetzt besser ab als die effizientesten Verbrenner, d. h. die mit BEVs verbundenen Emissionen sind geringer als die der effizientesten

Bei Verbrennern und BEVs fallen die meisten Emissionen in der Nutzungsphase an.

ten Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. In China stehen BEVs heute emissionsmäßig besser da als durchschnittliche Verbrenner und werden bis 2030 die effizientesten Verbrenner überholt haben. Da die Untersuchung auf eher vorsichtigen Annahmen basiert, könnten die Prognosen in Wirklichkeit noch positiver ausfallen.

Zu den Aspekten, die bei der Studie nicht berücksichtigt wurden, gehören neben den oben genannten Leerlaufemissionen von Verbrennern auch die Emissionen, die durch regeneratives Bremsen und den geringeren Wartungsbedarf von BEVs eingespart werden. Darüber hinaus geht ABB davon aus, dass sich die Emissionen von Verbrennerfahrzeugen auf einem bestimmten Niveau einpendeln werden, da die Technologie ausgereift ist, wohingegen die Emissionsreduktion bei

— 02 Lebenszyklusemissionen von Elektro- und Verbrennerfahrzeugen über 240.000 km in Europa im Jahr 2020. Die Unterschiede bei den EV-Emissionen sind auf die Art der regionalen Stromerzeugung zurückzuführen.

— 03 Prognostizierte Entwicklung der CO₂-Emissionen von BEVs und Verbrennerfahrzeugen.

— 04 Dekarbonisierung der nationalen Stromnetze.

den BEVs durch Innovation beschleunigt wird. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind zukünftige Technologien wie Vehicle-to-Grid, bei der BEVs als Energiequellen oder Speicher in das nationale Stromnetz eingebunden werden und so eine

Der Rückgang der Emissionen bei BEVs ist vorwiegend auf die Dekarbonisierung des Netzes zurückzuführen.

Senkung der Emissionen bei der Stromerzeugung ermöglichen. Mit anderen Worten, das Bild der Emissionen von BEVs ist wahrscheinlich positiver als hier dargestellt.

Fazit und Ausblick

Die Frage, ob ein Verbrennerfahrzeug hinsichtlich der CO₂-Emissionen besser ist als ein BEV, wurde durch eine detaillierte Untersuchung der Lebenszyklusemissionen von der Rohstoffgewinnung bis zur Auslieferung an den Kunden und inklusive der Fahrzeugnutzung über die gefahrenen Kilometer am Beispiel zweier vergleichbarer fünfsitziger Fahrzeuge beantwortet. Darin eingeflossen sind veröffentlichte Lebenszyklusanalysen zur Fahr-

zeugfertigung, Batterieherstellung, Kraftstoffbereitstellung, Stromerzeugung und -verteilung sowie zu den Emissionen während der Nutzung. Die Studie hat gezeigt, dass BEVs in der EU und den USA bereits geringere Emissionen aufweisen als die besten Verbrenner. China liegt noch etwas zurück, holt aber rasch auf. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass bei beiden Fahrzeugtypen ein Großteil der Emissionen in der Nutzungsphase anfällt. Bei BEVs werden die Emissionsreduktionen vorwiegend von einem Rückgang der stromnetzbezogenen Emissionen bestimmt, der wiederum auf die Dekarbonisierung des Netzes zurückzuführen ist. Je stärker Länder auf erneuerbare Energien setzen, desto attraktiver wird das Wertversprechen der BEVs.

Die hier vorgestellte Studie berücksichtigt keinerlei Auswirkungen auf den CO₂-Fußabdruck durch Recycling der Fahrzeuge oder der BEV-Batterie. Die Wiederverwendung bzw. das Recycling von Batterien einschließlich deren Zweitnutzung (Second Life) entwickelt sich rasch und kontinuierlich weiter, sodass bestimmte Annahmen für den Prognosezeitraum (2015–2030) unter Umständen noch positiver für BEVs ausfallen würden. Dies könnte Gegenstand einer zukünftigen Studie sein, die sich erneut mit der Thematik befasst, um die Auswirkungen der CO₂-Emissionen in der Nachnutzungsphase der betreffenden Fahrzeuge zu quantifizieren. •

Literaturhinweise

[1] B. Cox et al.: „Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios“. *Applied Energy* 269 (2020). Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192030533X> (abgerufen am 24.01.2023).

[2] D. Hall et al.: „Effects of battery manufacturing on electric vehicle life cycle greenhouse gas emissions“. ICCT Briefing, Februar 2018. Verfügbar unter: <https://theicct.org/publication/effects-of-battery-manufacturing-on-electric-vehicle-life-cycle-greenhouse-gas-emissions/> (abgerufen am 24.01.2023).

[3] M. Philippot et al.: „Eco Efficiency of a Lithium Ion Battery for Electric Vehicles: Influence of Manufacturing Country and Commodity Prices on GHG Emissions and Costs“. *Batteries* 2019 5(1),23. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/331225913_Eco-Efficiency_of_a_Lithium-Ion_Battery_for_Electric_Vehicles_Influence_of_Manufacturing_Country_and_Commodity_Prices_on_GHG_Emissions_and_Costs (abgerufen am 24.01.2023).

[4] International Energy Agency: „Electricity Market Report December 2020“. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-december-2020> (abgerufen am 24.01.2023).

[5] Ember: „European Union: The gas crisis interrupts a rapid coal exit“. Verfügbar unter: <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/european-union/> (abgerufen am 24.01.2023).

[6] A. Moro, L. Lonza: „Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles“. *Transportation Research Part D*, Vol. 64 (2017). Verfügbar unter: <https://www.semanticscholar.org/paper/Electricity-carbon-intensity-in-European-Member-on-Moro-Lonza/f639b05f1e3cdf40c7a89c86c9b450677-aae6245> (abgerufen am 24.01.2023).

[7] E. Emilsson, L. Dahllöf: „Lithium Ion Vehicle Battery Production – Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling“. IVL Swedish Environmental Research Institute (2019). Verfügbar unter: <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473464/1628416191286/FULLTEXT01.pdf> (abgerufen am 24.01.2023).

[8] G. Bieker: „A Global Comparison of the Life cycle greenhouse Gas Emissions of Combustion Engines and Electric Passenger Cars“. ICCT – International Council on Clean Transportation Europe, White Paper 2021. Verfügbar unter: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf (abgerufen am 24.01.2023).

[9] Q. Dai et al.: „Life Cycle Analysis of Lithium Ion Batteries for Automotive Applications“. *Batteries* 2019, 5(2),48. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2313-0105/5/2/48> (abgerufen am 24.01.2023).

[10] Q. Chen et al.: „Investigating carbon footprint and carbon reduction potential using a cradle-to-cradle LCA approach on lithium-ion batteries for electric vehicles in China“. *Journal of Cleaner Production* 369 (2022). Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622029286?via%3Dihub> (abgerufen am 24.01.2023).



01

DAS WELTWEIT ERSTE VOLLAUTOMATISCHE LADESYSYSTEM FÜR BERGBAUFahrZEUGE

Volle Ladung voraus

Automatisierung und Elektrifizierung spielen auch im Tage- und Untertagebau eine zunehmend wichtige Rolle. Die neue eMine™ FastCharge-Lösung von ABB →01, die speziell für batterieelektrische Schwerlastfahrzeuge konzipiert wurde, ermöglicht das vollautomatische Laden von Großmuldenkippern mit hoher Ladeleistung und trägt somit zur Sicherheit, Nachhaltigkeit und Produktivität bei.



Nic Beutler
Process Industries
Baden-Dättwil, Schweiz
nic.beutler@ch.abb.com

Laut verschiedener Branchenquellen, darunter Daten von McKinsey aus dem Jahr 2022, ist die Bergbauindustrie für bis zu sieben Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen (THG) verantwortlich [1]. Gleichwohl ist Bergbau unentbehrlich, wenn es darum geht, der Welt Stoffe wie Kupfer, Gold, Eisen und verschiedene andere Metalle in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen. Daher wird versucht, die Auswirkungen des Abbaus in den Schlüsselbereichen Energie- und Wassernutzung zu minimieren. Um dieses Ziel zu erreichen, investieren Unternehmen zu-

Das Ziel ist es, die Auswirkungen des Abbaus in den Bereichen Energie- und Wassernutzung zu minimieren.

nehmend in saubere und grüne Energiequellen, die Elektrifizierung der Transportsysteme für Menschen und Ausrüstung und in optimierte Wartungs- und Serviceprogramme.

—
01 Das ABB eMine™ FastCharge-Ladesystem für Muldenkipper im Tage- und Untertagebau.

—
02 ABB bietet Lösungen auf der Basis von Automatisierungs- und digitalen Systemen, die auf die Bedürfnisse der Bergbauindustrie zugeschnitten sind.

Technologieführer wie ABB arbeiten mit anderen Innovatoren, Erstausrüstern (OEMs), Fahrzeug- und Maschinenbauern, Industriekonsortien und natürlich Bergbauunternehmen zusammen. ABB engagiert sich für eine enge Zusammenarbeit und entsprechende Maßnahmen in diesem Bereich, was sich in vielen Vereinbarungen und Partnerschaften – zum Beispiel mit Hitachi Construction Machinery, MEDATech, Liebherr Mining Equipment, Stäubli, FLSmidth und Perenti widerspiegelt. Das Ziel dieser Vereinbarungen ist der Aufbau starker Beziehungen und eines Ökosystems aus Technologiepartnern, in dem Experten ihre Kräfte bündeln können, um einige der dringendsten Probleme der Bergbauindustrie zu lösen.

Einer der offensichtlichsten Schwerpunkte ist die Beseitigung von fossilen Brennstoffen. Die Reduzierung des Dieselverbrauchs bzw. der gänzliche

— Die ABB-Lösung ist das weltweit schnellste und einzige vollautomatische Ladesystem für Großmuldenkipper.

Verzicht auf Diesel beim Betrieb von schweren Muldenkippern und Hilfsfahrzeugen hat enorme Auswirkungen. In einigen der größten Bergwerke der Welt kommen über 100 Muldenkipper zum Einsatz, die jährlich mehrere Millionen Liter Dieselmotorkraftstoff verbrauchen. Zum Vergleich: Ein einzelner Kipper mit 100 Tonnen Nutzlast verbraucht rund 400.000 Liter im Jahr [2]. Die Umrüstung oder der Austausch dieser Maschinen gegen umweltneutrale Systeme ist eine enorme Aufgabe, die viele Branchenexperten jahrelang für unmöglich hielten. Heute kann der Dieselverbrauch mit vorhandenen Technologien um bis zu 90 Prozent reduziert werden. Tatsächlich geht ABB anhand eigener Berechnungen (Referenzen auf Anfrage) davon aus, dass sich durch die vollständige Elektrifizierung aller Muldenkipper in allen Bergwerken weltweit die CO₂-Emissionen jährlich um rund 198.000 Tonnen reduzieren ließen.

Rationalisierung der Elektrifizierung im Bergbau
Mit ABB Ability™ eMine bietet ABB ein auf Elektrifizierung, Automatisierung und Digitalisierung ausgerichtetes Portfolio, das auf über 130 Jahren Erfahrung in der Bergbauindustrie basiert und bewährte Methoden mit neuesten Technologien kombiniert →02. Ein zentraler Bestandteil der

Technologieentwicklung ist eine Pilotlösung namens eMine™ FastCharge. Das System mit einer Ladeleistung von bis zu 600 kW wurde 2021 eingeführt und ist heute das weltweit schnellste und einzige vollautomatische Ladesystem für Großmuldenkipper. ABB arbeitet eng mit OEMs →03 zusammen, um die Entwicklung des neuen emissionsreduzierenden Systems voranzutreiben, das darauf ausgelegt ist, sich in die gesamte Elektrifizierung und Automatisierung eines Bergwerks einzufügen →04 – eine bedeutende Verbesserung gegenüber traditionellen Bergwerksbetrieben.

Vollelektrische Bergwerke werden sich in den kommenden fünf bis fünfzehn Jahren zunehmend etablieren. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist, dass die elektrische Infrastruktur verlässlich funktioniert und die Fahrzeuge genau dann aufgeladen werden können, wenn es erforderlich ist. Hierzu bietet ABB OEM-agnostische Ladelösungen, die auf die Bedürfnisse heutiger Bergbaubetriebe ausgelegt sind und mit allen Fahrzeugen und Fahrzeugtypen kompatibel sind. Hinter diesem Ansatz steckt ein Bekenntnis zu interoperablen Systemen und bewährten offenen Standards bei der Entwicklung geeigneter Lösungen zum Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen (Battery-Electric Vehicles, BEVs).

REICHER ERFAHRUNGSSCHATZ

Die Bergbautechnologien von ABB basieren auf jahrzehntelanger Expertise und Erfahrung mit Elektrifizierungsprojekten und über 10 Jahren Erfahrung in der Bereitstellung von Ladeinfrastrukturen für Busse, Lkw und Pkw. ABB bietet Lösungen auf der Basis neuester Technologien, die speziell auf die Anforderungen der Bergbauindustrie ausgelegt sind. Durch Integration dieser Lösungen in fortschrittliche Automatisierungs- und digitale Systeme lassen sich Prozesse planen, überwachen und steuern, um den Betrieb und den Energieverbrauch vom Stromnetz bis zum Rad zu optimieren.

Systemkomponenten

eMine™ FastCharge, das als Eckpfeiler für die Realisierung vollelektrischer Bergwerke dienen kann, besteht aus zwei Komponenten: einem elektrischen Lademodul (Electric Charging Module, ECM) und einem Anschlussmodul (Connector Terminal Module, CTM). Beide sind robust ausgeführt,

—
 eMine™ FastCharge kann als Eckpfeiler für die Realisierung vollelektrischer Bergwerke dienen.

modularisiert und lassen sich an verschiedene betriebliche und infrastrukturelle Anforderungen anpassen. Damit eignen sie sich für den Einsatz an den höchstgelegenen und anspruchsvollsten Bergbaustandorten der Welt, an denen zum Beispiel Staub, Feuchtigkeit und Schmutz eine ständige Herausforderung darstellen.

Das in einem Standardcontainer (gleiche Grundfläche) untergebrachte und auf einem abnehmbaren Schlitten montierte ECM fungiert als elektrisches Zugpferd der Lösung. Es zeichnet sich durch ein mobiles, modulares Design mit teilbaren Einheiten aus, das ein leistungsstarkes Kühlsystem und einen Schutzkäfig für die HLK-Anlage (Heizung, Lüftung, Klima) sowie einen



—
03 Demonstration des ABB eMine™ FastCharge-Pilot-systems mit Kunden am Standort von MEDATech in Collingwood, Ontario.

schützenden Doppelboden für die Verkabelung und abgedeckte Kabelkästen für die Anschlusspunkte umfasst. Im Inneren befinden sich Ladegeräte, Hauptschaltanlagen, ein Stationsleitungssystem, ein Hilfstransformator und Verteilungen. Sämtliche Komponenten sind auf Stoßfängern montiert, um auch in unebenem Gelände mit dem Schlitten einen sicheren Transport zu gewährleisten.

Vom ECM gelangt der Ladegleichstrom zum CTM. Das innovative Modul verfügt über einen Hubtisch mit Schutzbalg, womit es je nach Fahrzeugtyp und Höhe der Ladebuchse am Fahrzeug angehoben oder abgesenkt werden kann. Darüber hinaus gibt es ein System zur

Anzeige des aktuellen Zustands (in Benutzung, Laden, vollständig geladen und Fehler) sowie ein Kamerasystem zur Fahrzeugerkennung, das ein schnelles Identifizieren und Anschließen des Fahrzeugs unterstützt. Obwohl die Positionierung vollständig automatisch erfolgt, gibt es eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), falls eine lokale Steuerung erforderlich ist. Genau wie das ECM verfügt auch das CTM über ein Rahmensystem mit Stoßfängern. Das automatische elektrische Kontaktierungssystem von Stäubli, einem führenden Hersteller von Anschlusslösungen, ist mit einem speziellen Balg und einem automatischen Verschlussystem vollständig in das Modul integriert, sodass er vor und während der Verbindung mit dem Zielfahrzeug geschützt ist.

Höhere Ladeleistung in Aussicht

In einer Branche, in der es auf hohe Produktivität und Effizienz ankommt, muss eine praktikable Ladelösung schnell und vollständig integriert sein. Die speziell für Schwerlast-BEVs konzipierte eMine™ FastCharge-Pilotlösung ermöglicht das

—
Die modulare Plattform lässt sich an höhere Leistungen und unterschiedliche Netzspannungen anpassen.

Laden von Muldenkippern mit hoher Ladeleistung und ist für die anspruchsvollsten Umgebungen ausgelegt. Sie kann überall installiert werden und lädt in ihrer ersten Version jeden elektrischen Lkw ohne menschlichen Eingriff mit bis zu 600 kW – der höchsten heute auf dem Markt verfügbaren Leistung –, was die Stillstandszeit der mobilen Ausrüstung minimiert.

Natürlich ist die Ladedauer abhängig von der Kapazität der Batterie und dem Einsatzprofil des Fahrzeugs, doch in vielen Fällen lässt sich innerhalb von 15 Minuten ein ausreichender Ladezustand erreichen →05. Gleichwohl ist man sich einig, dass in der Branche über kurz oder lang höhere Ladeleistungen benötigt werden, weshalb bereits an höheren Leistungen von mehreren MW gearbeitet wird. Das System bietet dank seines modularen Designs eine zukunfts-sichere Plattform, die sich mit fortschreitender technischer Entwicklung an höhere Leistungen und unterschiedliche Netzspannungen anpassen lässt.



Zudem ist eMine™ FastCharge vollständig digitalfähig. Durch die digitale Vernetzung kann das System überwacht und verwaltet werden, um die Ladevorgänge und den Energieverbrauch in Echtzeit zu optimieren und so den ökologischen Fußabdruck des Unternehmens zu verkleinern und gleichzeitig die Produktivität zu verbessern.

Das System unterstützt eine vorausschauende Produktionsplanung und automatisierte Ausführung.

In absehbarer Zukunft wird der Ladevorgang ein integraler zusätzlicher Schritt innerhalb des Bergwerksbetriebs sein. Dazu muss das System sorgfältig verwaltet, präzise geplant und korrekt betrieben werden, um negative Auswirkungen auf die Produktivität – z. B. durch vermeidbare Fahrzeugstaus am Ladepunkt – zu verhindern. Bei der Planung muss zudem sichergestellt werden, dass ausreichend elektrische Energie zur Verfügung steht, damit die Fahrzeuge ihre vorgesehenen Aufgaben effizient und kosteneffektiv erledigen können. Außerdem müssen die Ladeaktivitäten so über die Flotte und die Ladepunkte verteilt

werden, dass hohe Lastspitzen innerhalb des Anlagenverteilnetzes vermieden werden.

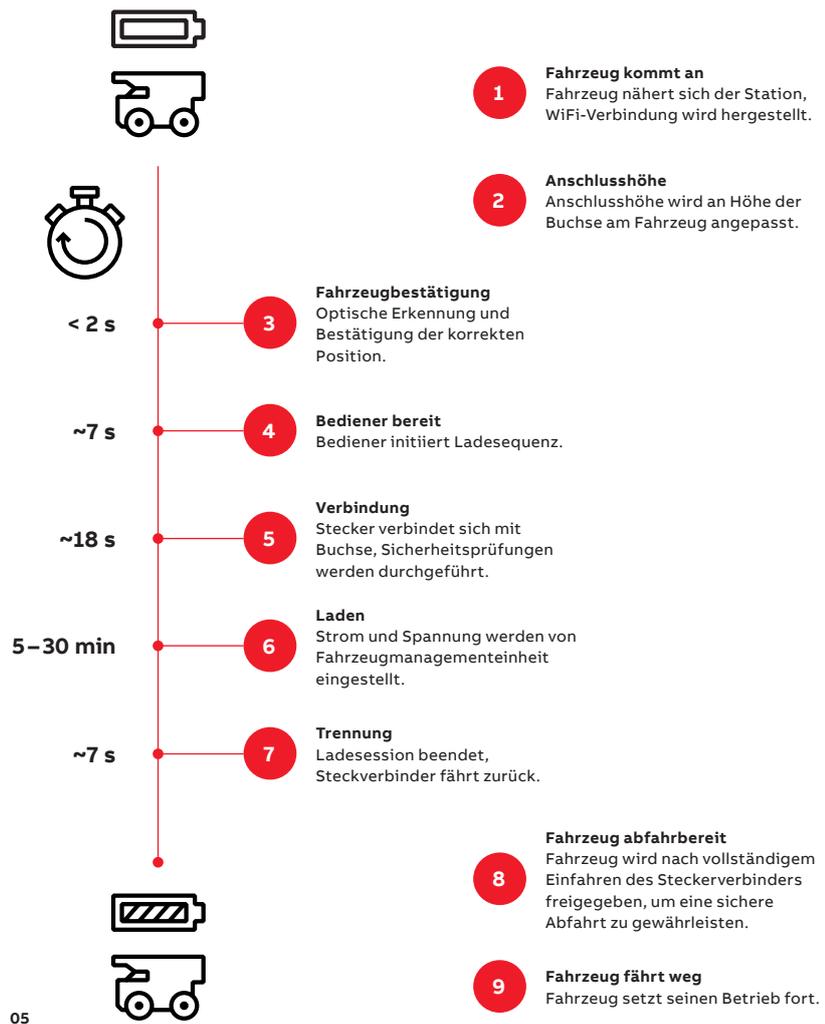
Das ABB Ability™ Operations Management System integriert den gesamten Bergwerksbetrieb in einer einzigen Plattform und ermöglicht die Vernetzung der Belegschaft und Ausrüstung in Echtzeit. Das System unterstützt eine vorausschauende Produktionsplanung und automatisierte Ausführung und reagiert binnen Sekunden auf Unterbrechungen. Darüber hinaus verwaltet und optimiert es den Ladebetrieb im Hinblick auf eine maximale Produktivität unter Berücksichtigung anderer Systemaspekte wie Stromverfügbarkeit, Bergwerksplan und Betriebsziele sowie Verfügbarkeit von Betriebsmitteln.

Wie andere Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette möchten auch Bergbauunternehmen ihren Beitrag zur Energiewende leisten, indem sie die Nachhaltigkeit, Sicherheit und Produktivität bei sämtlichen Aktivitäten maximieren. Dies sind wichtige Voraussetzungen für den Erhalt von Betriebsgenehmigungen in bedeutenden Bergbauländern wie Australien, Chile, Kanada, Südafrika und Schweden. eMine™ FastCharge hilft Bergwerksbetreibern in allen drei Bereichen, denn zum einen brauchen sich Fahrer und Bergleute nicht um den Ladevorgang kümmern, da dieser vollautomatisch abläuft, und zum anderen werden sie von elektrischen Fahrzeugen unterstützt, die leiser und komfortabler zu bedienen sind.



—
04 Die neue emissionsreduzierende Vision von ABB ist darauf ausgelegt, die gesamte Elektrifizierung und Automatisierung eines Bergwerks zu rationalisieren.

—
05 Ein ausreichender Ladezustand lässt sich häufig innerhalb von 15 Minuten erreichen.



Literaturhinweise

[1] L. Delevingne et al.: „Climate risk and decarbonization: What every mining CEO needs to know“. McKinsey & Company, Januar 2020. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/climate-risk-and-decarbonization-what-every-mining-ceo-needs-to-know> (abgerufen am 15.01.2023).

[2] V. Kecojevic, D. Komljenovic: „Haul truck fuel consumption and CO₂ emission under various engine load conditions“. *Mining Engineering* 62(12), Dezember 2010, S. 44–48.

Kurz gesagt, eMine™ FastCharge ist eine vielseitige und richtungsweisende Systemlösung, die nicht zuletzt dank folgender Merkmale einen nachhaltigen Bergwerksbetrieb unterstützt:

- eine einheitliche, für alle Muldenkipper geeignete Schnittstelle
- keine manuelle Bedienung
- ultraschnelles Laden zur Minimierung von Stillstandszeiten
- ein mobiles System, das problemlos überall installierbar ist
- modularer Aufbau
- robuste Ausführung für den Einsatz in rauen Umgebungen
- zukunftssicheres digitales Design

Mit der fortschreitenden vollständigen Elektrifizierung von Bergwerken werden Dieselabgase zunehmend sauberer Elektrizität weichen, was dabei helfen wird, die Energieeffizienz und die Bewegung von Mensch und Maschine zu optimieren. Mulden-

Das ABB Ability™ Operations Management System integriert den Bergwerksbetrieb in einer einzigen Plattform.

kipper können mit höheren Geschwindigkeiten fahren, Bergbaubetriebe und deren Belegschaft profitieren von CO₂-freien Bergwerken, und der Durchsatz wird bei sinkenden Kosten erhöht.

Die Vision führender Bergbauunternehmen ist ein vernetzter Arbeitsplatz, an dem Menschen und Betriebsmittel – idealerweise angetrieben von erneuerbaren Energien wie Wind, Sonne und Wasser – in Synergie zusammenarbeiten. ABB wird weiter daran arbeiten, Geräte, Systeme und Menschen zusammenzubringen, um den Bergwerksbetrieb zum Wohle der Umwelt und zukünftiger Generationen nachhaltiger, sicherer und effizienter zu gestalten. •

MULTIPHYSIKALISCHES REDUCED-ORDER-MODELL ZUR
LUTFREINHALTUNG IN BERGWERKEN

Strömungs- modellierung



Die erfolgreiche Entwicklung und Verifizierung eines Modells reduzierter Ordnung (Reduced-Order Model, ROM) ermöglicht realistische Vorhersagen der CO₂-Konzentration in Untertagebergwerken. Durch Integration in Steuerungssysteme für die Grubenbelüftung könnte die vom ROM generierte Antwortfläche dabei helfen, die Luftqualität unter Tage zu verbessern.

—
01 Untertagebergwerke wie diese Goldmine können von einer Belüftungsteuerung mit ABB Ability™ Ventilation Optimizer profitieren. ABB untersucht, ob multiphysikalische Modellierungen zur weiteren Verbesserung genutzt werden können.



Mahesh J Vaze
ABB Corporate Research,
Process Automation
Bangalore, Indien

mahesh.vaze@
in.abb.com

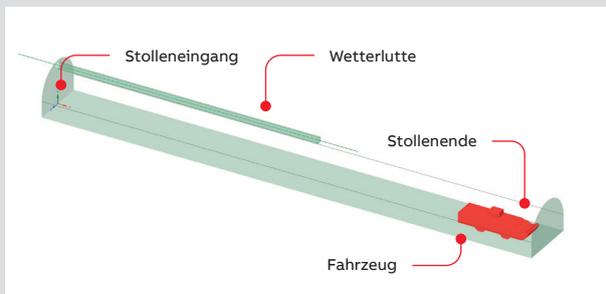


Subhashish Dasgupta
ABB Corporate Research,
Process Automation
Bangalore, Indien

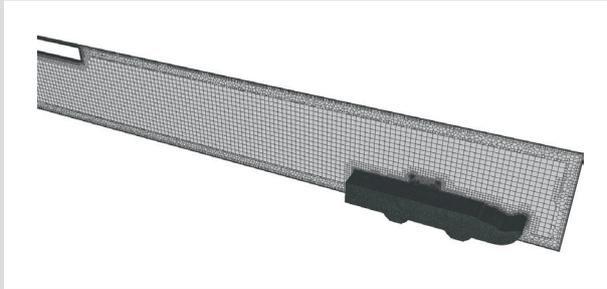
subhashish.dasgupta@
in.abb.com

Die multiphysikalische Modellierung ist eine weltweit gefragte Methode zur realitätsnahen Simulation komplexer Strömungssysteme. Ermöglicht wird dies durch die enormen Entwicklungsfortschritte der letzten Jahre und die Fähigkeit mathematischer Werkzeuge zur Erfassung komplexer Strömungsmuster, Wärmeübergänge und der Ausbreitung von Gasen. Eine bedeutende Anwendung, die von der multiphysikalischen Modellierung profitieren könnte, ist die Belüftung von Untertagebergwerken, die sogenannte „Grubenbewetterung“. Angesichts der Belastung durch Abgase von Dieselfahrzeugen und Sprengtätigkeiten ist die Wetterführung für die Arbeits- und Anlagensicherheit von entscheidender Bedeutung →01. Bewetterungssysteme müssen Luft in ausreichender Menge und Qualität zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitstellen, was eine komplexe Strömungsführung erfordert. Fortschrittliche Strategien wie die bedarfsgerechte Wetterführung (Ventilation on Demand, VoD) und die Optimierung der Belüftung mithilfe von Algorithmen und digitalen Zwillingen stehen bereits mit den aktuellen Lösungen von ABB für die Bergbauindustrie zur Verfügung. Doch ABB ist stets auf der Suche nach Möglichkeiten, um ihre Systeme weiter zu verbessern.

So haben sich Multiphysik-Experten von ABB daran gemacht, die Möglichkeit zur Nutzung der multiphysikalischen Modellierung, speziell der strömungsdynamischen Modellierung (Computational Fluid Dynamics, CFD) mit Stofftransportanalyse, zur Simulation der Gasdynamik in Bergwerken zu untersuchen. Das Ziel ist es



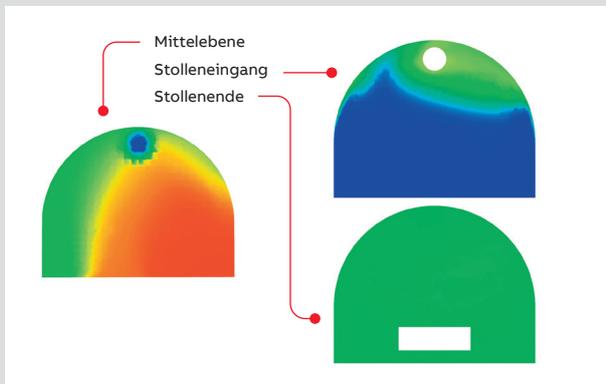
02a



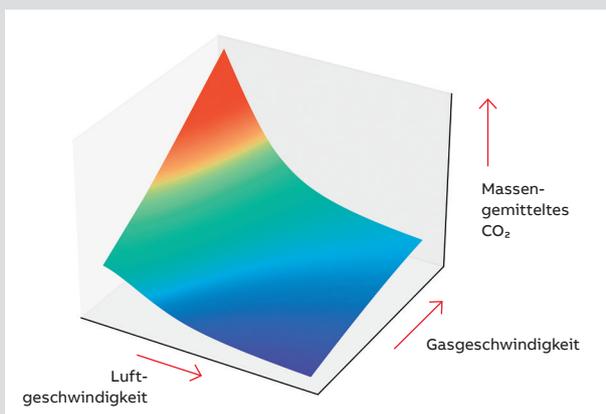
02b



02c



02d



03

letztendlich, die Steuerung der Bewetterung zu verbessern, sodass Kunden in der Lage sind, den Grad der Verschmutzung noch weiter zu reduzieren, um die Sicherheit und Gesundheit des Personals zu gewährleisten. Und da die Grubenbewetterung ein energieintensiver Prozess ist, könnten außerdem Energie und Kosten gespart werden.

ROMs als implementierbare Version von CFD-Modellen

Wie Forschungspublikationen aus aller Welt zeigen, ist die CFD-Modellierung mit Stofftransportanalyse eine bewährte Methode zur Simulation der Ausbreitung von Gasen [1,2]. Da sie ein ganzheitliches Bild der Verteilung von Gasen wie Kohlendioxid und Methan im zeitlichen Verlauf liefern können, sind CFD-Modelle die beste Möglichkeit, um Einblicke in komplexe

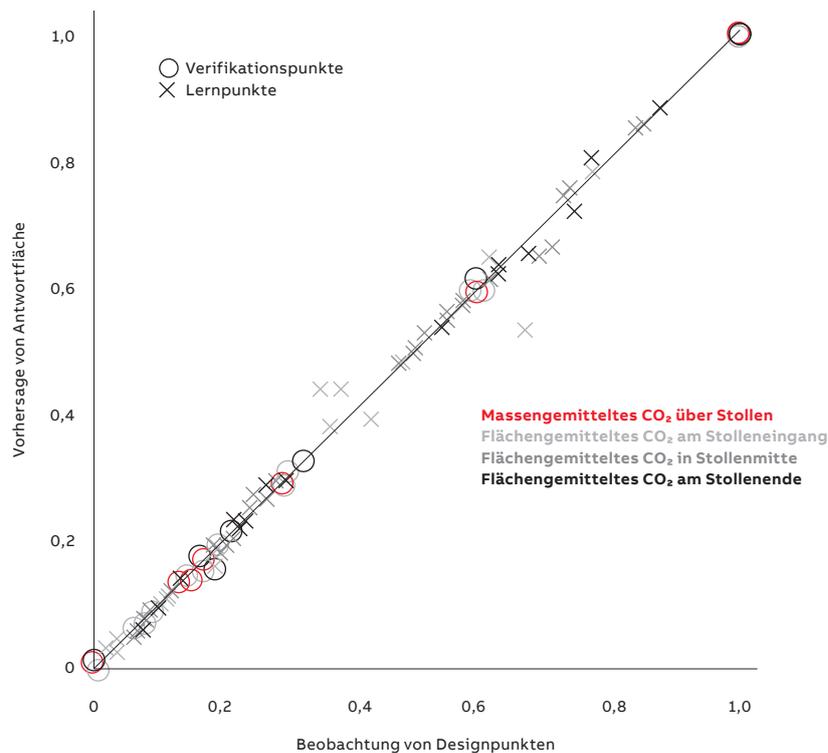
—
ABB nutzt ein vereinfachtes Modellierungsverfahren, um die Integration in Steuerungssystemplattformen zu erleichtern.

Gasströmungssysteme zu erhalten. Allerdings ist die CFD-Modellierung zeitaufwändig und lässt sich nicht so einfach in Plattformen integrieren. Daher hat ABB die Möglichkeit zur Entwicklung von Modellen reduzierter Ordnung, sogenannter Reduced-Order-Modelle (ROMs), als vereinfachtes Modellierungsverfahren gegenüber CFD geprüft, um die Integration in Steuerungssystemplattformen zu erleichtern.

Ein ROM enthält nicht nur die entscheidenden Merkmale eines vollmaßstäblichen Modells und ermöglicht die Simulation beliebiger Eingaben mit entsprechenden Ergebnissen innerhalb einer akzeptablen Zeit, sondern bietet auch folgende Vorteile:

- Optimierung des Produktdesigns mithilfe mehrerer Iterationen in kürzerer Zeit
- Entwicklung physikalisch basierter digitaler Zwillinge
- Nutzung von Simulation durch Personen mit geringen oder mittleren Fachkenntnissen

Und da ROMs in Frontend-Versionen, also benutzerfreundliche und konfigurierbare Versionen, umgewandelt werden können, lassen sich private und vertrauliche Daten vor Dritten verbergen. Dank dieser Vorteile eignen sich ROMs nicht nur zur Reduzierung der Rechenressourcen und Designoptimierung, sondern auch zur allgemeinen Senkung der Kosten.



02 Die für die Simulationen verwendete CFD-Modellierung der Luftverschmutzung durch Fahrzeuge in einem Bergwerkstollen.

02a Geometrie eines Stollens.

02b Rechengitter.

02c CO₂-Massenanteil über einen Stollen.

02d CO₂-Massenanteil über eine Ebene.

03 Die vom ROM generierte Antwortfläche.

04 Ergebnisse der Anpassungsgüte.

Erstellen eines ROM

Als ersten notwendigen Schritt zur Erstellung eines ROM entwickelte ABB ein vollmaßstäbliches CFD-Modell des Systems. Mit dem Modell wurden zahlreiche CFD-Simulationen mit verschiedenen Eingangsparametern durchgeführt und die entsprechenden Ausgangsergebnisse aufgezeichnet. Durch ein mehrdimensionales Kurvenanpassungsverfahren wurden die Eingangsparameter unter Verwendung von Algorithmen des maschinellen Lernens (ML) bzw. neuronaler Netze (NN) mit den Ausgangsergebnissen in Beziehung

Als ersten Schritt entwickelte ABB ein vollmaßstäbliches CFD-Modell des Systems.

gesetzt, um das ROM zu generieren. Anschließend wurde das ROM anhand von Testfällen auf seine Genauigkeit und Zuverlässigkeit getestet. Dazu wurden die Vorhersagen des Modells für Fälle, die im ersten Schritt nicht simuliert wurden, mit Vorhersagen des vollmaßstäblichen CFD-Modells verglichen. Diese ROMs können in branchenüblichen Standardformaten wie „.fmu“-Dateien erstellt und in andere Plattformen exportiert werden.

Warum ein ROM für die Gasdynamik?

Bei der hier beschriebenen Untersuchung wurden Fahrzeugabgase als primäre Verschmutzungsquelle für die Luft unter Tage betrachtet. Im vorliegenden Fall führt ein Lüftungskanal, eine sogenannte „Wetterlutte“, Frischluft durch den Stollen, um die Konzentration von giftigen Gasen wie CO₂ zu senken und den CO₂-Gehalt innerhalb der gesetzlich zulässigen Grenzen zu halten. Wie wäre es, wenn sich der CO₂-Gehalt bei bestimmten Eingangsparametern realistisch vorhersagen ließe? Eine solche Möglichkeit könnte nicht nur die Wirksamkeit der Belüftungssteuerung verbessern, sondern hätte auch einen positiven Effekt auf die Arbeitssicherheit und den Energieverbrauch.

Testen des ROM – funktioniert es?

Um die Möglichkeit zur Nutzung von ROMs für Vorhersagen zu untersuchen, wurde eine CFD-Modellierung der Luftverschmutzung durch Fahrzeuge in Bergwerkstollen durchgeführt. Die Geometrie und das Rechengitter eines Stollens unter den gegebenen Randbedingungen bzw. Modelleingaben ist in →02a–b dargestellt. Als primäre Eingangsparameter dienen hier die Luftgeschwindigkeit am Auslass der Wetterlutte und die vom Fahrzeug ausgestoßenen Abgase. Die Volumendarstellung des CO₂-Massenanteils →02c zeigt, dass die ausströmende Frischluft die giftigen Gase vom hinteren Stollenende weg treibt. Die interessanten Ergebnisse in diesem



ANSYS DesignXplorer Add-in for Excel

resSurfaceDXROM1.dxrom

✓ The evaluation operation was successfully performed.

What-If?

Caption	P9 - airVelocity	P10 - gasVelocity	P11 - mass-ave-co2-op	P12 - face-ave-co2-finger-entry-op	P13 - face-av-co2-mid-plane-op	P14 - face-ave-co2-dead-end-op	P11 - mass-ave-co2-op Predicted Error	P12 - face-ave-co2-finger-entry-op Predicted Error	P13 - face-av-co2-mid-plane-op Predicted Error	P14 - face-ave-co2-dead-end-op Predicted Error
Unit	m s ⁻¹	m s ⁻¹	None	None	None	None				
Type	Input	Input	Output	Output	Output	Output	Predicted error	Predicted error	Predicted error	Predicted error
Classification	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Lower Bound	12,000	7,000								
Upper Bound	50,000	21,000								
Response Point 0	31,000	14,000	0,007	0,004	0,005	0,006	1,215E-04	3,200E-04	1,181E-04	1,241E-04
Response Point 1	49,000	8,000	0,004	0,002	0,002	0,003	5,059E-05	1,083E-04	2,655E-05	5,792E-05
Response Point 2	13,000	20,000	0,025	0,021	0,016	0,018	5,603E-05	1,468E-04	5,346E-05	3,990E-05
Response Point 3	20,000	18,000	0,014	0,010	0,010	0,011	2,303E-05	8,591E-05	2,602E-05	2,412E-05

06

05 Eine verbesserte Wirksamkeit der Belüftungssteuerung ist nicht nur wichtig für die Arbeitssicherheit, sondern hätte auch einen positiven Effekt auf den Energieverbrauch.

06 Screenshot eines Add-ins für Excel, das eine einfache Integration der Antwortfläche ermöglicht.

Fall sind der massengemittelte CO₂-Wert über das gesamte Stollenvolumen und der flächengemittelte CO₂-Wert (Stolleneingang, -ende und -mitte) für die drei Ebenen →02d. Das ROM stellt die Beziehung zwischen den Ausgangs- und Eingangsparametern für die gegebene Geometrie und Diskretisierung dar.

Die vom ROM generierte Antwortfläche kann ein wirksames Tool für die Online-Steuerung der Bewetterung sein.

Die statistische Versuchsplanung (Design of Experiments, DOE) für das ROM der Gasausbreitung innerhalb des Stollens wurde mithilfe der OSFD-Methode (Optimal Space Filling Design) erstellt. Zunächst werden einige Designpunkte bzw. Variationen von Eingangsparametern betrachtet und mithilfe des CFD-Modells simuliert. Die Eingangsparameter werden auf den Ausgang gemappt, woraus mithilfe der Methode genetischer Algorithmen zur Lösung von Optimierungsproblemen mit und ohne Nebenbedingungen das ROM generiert wird. Die Ausgabe des ROM ist die Antwortfläche →03. Diese stellt die Beziehung zwischen den primären Ausgangsergebnissen, in diesem Fall die massengemittelte CO₂-Konzentration im Stollenvolumen, und den Eingangsparametern sowie die Geschwindigkeit der Frischluft und der Abgase grafisch dar. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des ROM werden mithilfe der Methode der Anpassungsgüte verifiziert, wobei die von der Antwortfläche vorhergesagten Werte mit den Werten der Designpunkte aus dem

vollmaßstäblichen CFD-Modell verglichen werden. In →04 markieren die X-Symbole die zur Entwicklung des ROM verwendeten Designpunkte/ Lernpunkte und die Kreissymbole die zusätzlichen Verifikations- oder Testpunkte. Es ist deutlich zu sehen, dass alle Verifikationspunkte entlang der Regressionsgeraden liegen und somit die für die Validierung erforderliche Anpassungsgüte gewährleistet ist. In diesem Fall liegt der RMS-Fehler (Root Mean Square) bei lediglich 1×10^{-3} m, was ein akzeptabler Fehlerwert ist.

Auf die Plattformintegration kommt es an
Ausgehend von den beschriebenen experimentellen Ergebnissen kann die vom ROM generierte Antwortfläche, die die Abgaskonzentration mit den Eingangsparametern in Beziehung setzt, ein wirksames Tool für die Online-Steuerung der Bewetterung in Bergwerken sein – vorausgesetzt, sie kann in Steuerungssystemplattformen von ABB integriert werden →05. Da aus dem ROM die erforderliche „dxrom“-Datei generiert werden kann, ist dies der Fall. Die Datei kann einfach mit Microsoft Excel aufgerufen werden und lässt sich in aktuelle ABB-Plattformen wie VOD und ABB Ability™ Ventilation Optimizer integrieren. Da das ROM auf anspruchsvollen dreidimensionalen multiphysikalischen Berechnungen basiert, würde die Einbindung der generierten Antwortfläche die von ABB angebotenen Technologien für die Grubenbewetterung um eine neue Dimension erweitern. Dies könnte nicht nur Kunden dabei helfen, die richtige Menge an Frischluft zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitzustellen, um die Luftqualität in Bergwerken zu verbessern, sondern würde auch zur weiteren Verbesserung der Arbeitssicherheit beitragen. Gleichzeitig wird durch die Optimierung Energie eingespart, was sich wiederum in Kosteneinsparungen niederschlägt. •

Literaturhinweise

[1] J.C. Kurnia: „CFD simulation of methane dispersion and innovative methane management in underground mining faces“. *Applied Mathematical Modeling*, 2014, S. 3467–3484.

[2] Z. Lihong: „CFD modeling of methane distribution at a continuous miner face with various curtain setback distances“. *Journal of Mining Science and Technology*, 2015, S. 635–640.



WIE KANN DAS INDUSTRIAL METAVERSE ABB UND IHREN KUNDEN HELFEN?

Industrial Metaverse

Das Industrial Metaverse verspricht signifikante Verbesserungen für sämtliche Aspekte der Industrie.



Martin W. Hoffmann
ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland

martin.w.hoffmann@de.abb.com

Es gibt bisher keine allgemeingültige Definition für den Begriff Industrial Metaverse, aber man kann es sich als einen sich entwickelnden nutzerzentrierten Raum vorstellen, der die digitale und physische Welt durch die Zusammenführung aktueller Technologien – digitale Zwillinge, maschinelles Lernen, Internet of Things (IoT), Mixed Reality, 5G u. a. – miteinander verbindet und erweitert →01. Dabei sind Metaversen für unterschiedliche Einsatzzwecke absehbar.

Bestandteile und Potenzial

Insbesondere das Industrial Metaverse bietet Möglichkeiten, um industrielle Prozesse, Produkte, Daten und Systeme in einer kontrollierten und sicheren Umgebung zu simulieren, zu analysieren und zu testen. So können Anlagenbesitzer zum Beispiel ihre Effizienz mithilfe von Virtual-Engineering und Co-Simulations-Umgebungen verbessern. Außerdem kann es genutzt werden, um:

- die Agilität und Resilienz von Produktionsanlagen durch kontinuierliche Optimierung zu erhöhen,
- Lieferzeiten durch vollständig vernetzte Liefernetzwerke zu verkürzen,
- den Energieverbrauch durch integrierte Datenanalysen zu optimieren,
- das Verständnis von Mitarbeitern für ihre Rolle im Produktionsprozess durch Erlebarmachung der Arbeitsabläufe mithilfe von Extended Reality (XR) verbessern.

Schiffbesatzungen könnten zum Beispiel in realitätsnahe Simulationen eintauchen, um die Fernüberwachung eines autonomen Schiffs zu

trainieren [1,2], oder die Umgebung ihres Schiffs mithilfe von Augmented Reality überprüfen [3]. Dies sind wichtige Schritte auf dem Weg zu einem sicheren und effizienten autonomen Schiffsbetrieb.

Mit dem Industrial Metaverse rückt die Realisierung des ganzheitlichen digitalen Zwillings einer Produktionsanlage, der alle Prozesse, das

—
ABB freut sich darauf, diese Möglichkeiten zu ergründen.

Personal und das Versorgungsnetz umfasst und sämtliche Phasen des Entwurfs- und Entwicklungslebenszyklus abdeckt, in greifbare Nähe. Weitere Schlüsseltechnologien neben XR sind omnipräsente Kommunikationsmöglichkeiten (z. B. auf der Basis von 5G), ein standardisierter Informationsaustausch (z. B. über die Industrie 4.0 Verwaltungsschale) und industrielle Cloudplattformen wie Manufacturing-X.

Man stelle sich zum Beispiel einen Serviceingenieur vor, der ein leichtes XR-Headset nutzt, um sich in einer Kundenanlage überlagerte cloudbasierte Simulationen des Produktionsprozesses auf Basis von 5G und maschinellem Lernen anzusehen. Weitere Fachexperten und Anlagenfahrer rund um den Globus könnten sich aus der Ferne



Yemao Man
ABB Corporate Research
Västerås, Schweden

yemao.man@se.abb.com

—
01 Das Zusammenspiel verschiedener Technologien ermöglicht das Industrial Metaverse.

mithilfe ähnlicher Headsets in diese Mixed-Reality-Umgebung einklinken. Ein solches Szenario vermittelt den Beteiligten ein umfassenderes Verständnis des Produktionsprozesses, minimiert Gesundheitsrisiken und ermöglicht eine schnellere Inbetriebnahme bzw. Umgestaltung einer Produktionslinie.

Evolution des Industrial Metaverse

Viele Technologien des Industrial Metaverse sind bereits in Gebrauch. So werden Systeme zur Vor-Ort-Unterstützung mithilfe von Videoverbindungen zu entfernten Experten und XR-Funktionen wie CLOSER (Collaborative Operations für elektrische Systeme) von ABB oder ABB Ability™ AR-Guided Support für Messgeräte zum Industriestandard. Auch Co-Simulationen mit digitalen Zwillingen von Anlagen und Fabriken sind heutzutage möglich, zum Beispiel mithilfe von ABB Ability System 800xA Simulator oder ABB Ability Virtual Commissioning für Frequenzrichter.

Das Industrial Metaverse wird kontinuierlich von Fortschritten in anderen Metaversen wie dem Consumer Metaverse und dem Commercial Metaverse profitieren. Ein Beispiel hierfür ist die virtuelle Kollaboration. Darüber hinaus liefert KI für den Menschen verständliche Erkenntnisse, die bei der Optimierung der Effizienz und Produktivität industrieller Prozesse helfen können. Ebenso sind eine verstärkte Nutzung von Sensortechnologien und des IoT zur Erfassung von Daten, die Durchführung von Echtzeit-Analysen in der Edge und in der Cloud sowie die Nutzung der Blockchain-Technologie zur Sicherung und Verwaltung von Daten und Transaktionen zu erwarten. ABB freut sich darauf, diese spannenden Möglichkeiten zusammen mit ihren Partnern und Kunden zu ergründen.

Die ABB Review wird sich in einer zukünftigen Ausgabe genauer mit dem Industrial Metaverse befassen. •

Literaturhinweise

[1] K. Tervo: „Auf Zukunftskurs – Bessere Entscheidungen beim Schiffsbetrieb mit Ability™ Marine Pilot“. *ABB Review* 2/2022, S. 10–17.

[2] ABB: „Autonomous Shipping“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/84822/autonomous-shipping> (abgerufen am 13.01.2023).

[3] ABB: „ABB Ability™ Marine Pilot Vision“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/digital/abb-ability-marine-pilot/abb-ability-marine-pilot-vision> (abgerufen am 13.01.2023).

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 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 1/2023 ist die Zeitschrift nur noch auf Englisch, Deutsch und Chinesisch erhältlich. Wenn nicht anders verlangt, erhalten Abonnenten der eingestellten Sprachen die englische Version. Wenn Sie Ihre Präferenzen ändern möchten, können Sie uns dies unter abb.com/abbreview mitteilen.

IMPRESSUM

Editorial Board

Bernhard Eschermann
Chief Technology Officer,
ABB Process Automation

Paul Singer
Chief Technology Officer,
ABB Electrification

Niclas Sjostrand
Chief Technology Officer,
ABB Robotics

Panu Virolainen
Chief Technology Officer,
ABB Motion

Amina Hamidi
Global Product Group Manager, Measurement & Analytics, ABB Process Automation

Daniel Smith
Head of Media Relations

Adrienne Williams
Senior Sustainability Advisor

Reiner Schoenrock
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.

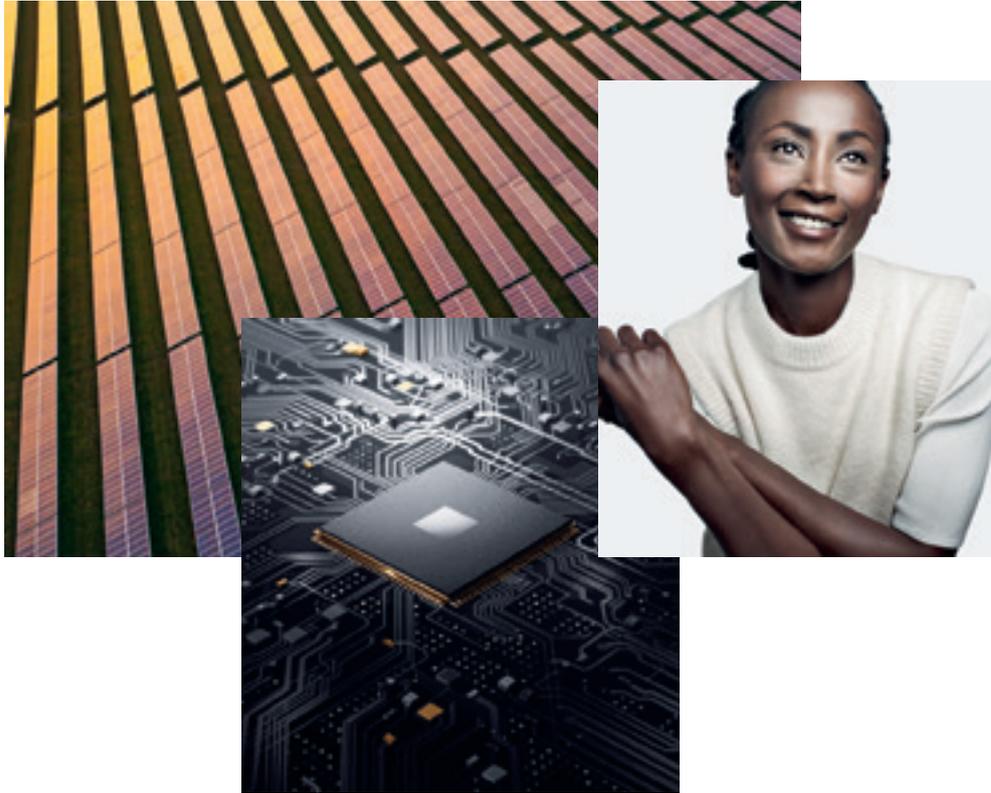
Die Unternehmen der ABB-Gruppe übernehmen weder ausdrücklich noch stillschweigend eine Haftung oder Garantie für die Inhalte oder die Richtigkeit der in dieser Publikation enthaltenen Informationen.

2/2023 ist die 901. Ausgabe der ABB Review.

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbreview

Nächste
Ausgabe
03/2023
Nachhaltigkeit



Willkommen zu „billions of better decisions”.

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

ABB