

# review

02|2020 de

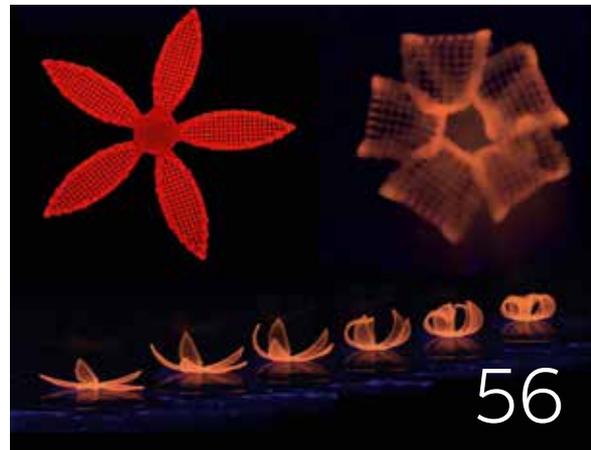
## Im Blickpunkt: Konnektivität



- 
- 06–29 **Blickpunkt Konnektivität**
  - 30–45 **Energie vernetzen**
  - 46–55 **Roboter und Handhabung**



Software für UMC Motor Controller



4D-Druck

Energieeffizienz von Gebäuden





40

## Leistungselektronischer Netzsimulator

---

05 Editorial

---

## Blickpunkt Konnektivität

- 08 Intelligentes Alarmmanagement
- 14 Energieeffizienz von Gebäuden
- 22 Smart Sensor für Ex-Bereiche
- 28 Auszeichnung für Netzwerkforscher

---

## Energie vernetzen

- 32 Automatischer  
Netzumschalter Zenith
- 36 Software für UMC Motor Controller
- 40 Leistungselektronischer  
Netzsimulator

---

## Roboter und Handhabung

- 48 Präzises robotergestütztes  
Depalettieren
- 52 OmniCore™ bringt Roboter  
auf Touren

---

## Buzzwords entschlüsselt

56 4D-Druck

---

63 Impressum

63 Abonnement

 A photograph of a tall, modern building with a grid-like facade, possibly a skyscraper or industrial structure. The building is set against a clear sky.
 

14

---

**Die Vorstellung, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Einzelteile, stammt aus der antiken Philosophie – gilt aber auch für die nächste Generation von Tools, Services und Lösungen. ABB Review zeigt, wie Sensoren, KI und Echtzeit-Daten miteinander verknüpft werden können, um die Produktivität und Profitabilität bestehender Anwendungen zu erhöhen und neue Anwendungsszenarien zu ermöglichen.**

---

EDITORIAL

# Im Blickpunkt: Konnektivität



Liebe Leserin, lieber Leser, in der letzten ABB Review ging es um adaptive Produktion und darum, dass immer mehr Fabriken von der Massenfertigung identischer Produkte auf eine flexible Herstellung einer breiteren Produktpalette umschwenken. Nun gehen wir einen Schritt weiter: Eine Fabrik muss nicht nur in ihren Abläufen und Produkten flexibel sein, sondern auch im Hinblick auf ihre Betriebsmittel und ihre Konfiguration. Neue Aufgaben erfordern häufig neue Funktionen und Geräte, die mit minimalem Stillstand und Konfigurationsaufwand in die Anlage integriert werden müssen.

Eine Schlüsseltechnologie ist die drahtlose Kommunikation, die mit zunehmender Zuverlässigkeit und sinkender Latenz vermehrt den Weg in Anwendungen findet, für die sie bisher nicht geeignet war.

Neben Errungenschaften im Bereich der Kommunikation werfen wir einen Blick auf Tools und Produkte, die sich durch eine erweiterte Funktionalität und einfache Konfiguration auszeichnen. Dazu gehören ein Netzsimulator, eine Motor Controller Software und ein automatischer Netzumschalter.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

A handwritten signature in red ink, appearing to read 'Bazmi Husain'.

Bazmi Husain  
Chief Technology Officer



# Blickpunkt Konnektivität





Wenn es darum geht, industrielle und missionskritische Funktionen zu vernetzen, ist robuste und sichere Technologie, gefragt. ABB treibt die Entwicklung und Implementierung dieser Technologien voran und präsentiert unter anderem einen smarten Sensor der nächsten Generation, der für den Einsatz unter extremen Bedingungen ausgelegt ist.

- 08      Intelligentes Alarmmanagement leitet Nutzer zu kritischen Ereignissen
- 14      Ein Netzanalysegerät steigert die Energieeffizienz von Gebäuden
- 22      Smart Sensor für explosionsgefährdete Bereiche
- 28      Netzwerkforscher erhält Förderpreis



BLICKPUNKT KONNEKTIVITÄT

# Intelligentes Alarmmanagement leitet Nutzer zu kritischen Ereignissen

IAM (Intelligent Alarm Management) von ABB nutzt Data-Mining-Verfahren zur Erstellung eines fortschrittlichen Alarmmodells und ist das ultimative Alarmmanagementsystem für Prozessindustrien.

—  
**Aldo Dagnino**  
ABB Advanced Analytics  
Cary, NC, USA

aldo.dagnino@  
us.abb.com

**Carsten Beuthel**  
S+ Operation  
Mannheim, Deutschland

carsten.beuthel@  
de.abb.com

**Thomas-Christian Skovholt**  
Digital Delivery  
Oslo, Norwegen

thomas.skovholt@  
no.abb.com

**Martin Hollender  
Marcel Dix**  
ABB Corporate Research  
Ladenburg, Deutschland

martin.hollender@  
de.abb.com  
marcel.dix@de.abb.com

Große verfahrenstechnische Anlagen wie Petrochemieanlagen oder Kraftwerke nutzen komplexe Leitsysteme, um Prozesse und Betriebsabläufe zu steuern und die gewünschten Produkte zu erzeugen. Früher lieferten Schalttafeln, Kontrollinstrumente und Sensoren analoge Informationen an geschulte Anlagenfahrer, die dann entschieden, was zu tun war. Wenn ein Prozess Gefahr lief, bestimmte Grenzen zu überschreiten, die aus Sicherheits-, Umwelt- oder Kostengründen nicht vertretbar waren, wurden Notfallsysteme aktiviert, um den Prozess zu stoppen.

Seit dem Aufkommen von verteilten Leitsystemen (Distributed Control Systems, DCS) ist das Bedienpersonal in der Lage, Prozesse zu steuern, ohne die Anlage in jedem Detail verstehen zu müssen. Da DCS sich einfach konfigurieren und implementieren lassen, werden in vielen Projekten über alle Messtellen des gesamten Systems hinweg Alarme eingerichtet (typischerweise ein Überschreitungsalarm bei 80 % und ein Unterschreitungsalarm bei 20% des Messbereichs). Die Folge im täglichen Betrieb sind regelrechte Alarmfluten. Plötzlich muss sich das Bedienpersonal mit viel zu vielen Alarmen auseinandersetzen, wobei nur wenige Alarme wirklich einen Nutzwert haben. Bei vielen Alarmen ist zudem unklar, wie reagiert werden muss. Das Bedienpersonal muss sich im Falle eines solchen Alarms durch Betriebsanleitungen arbeiten – ein mühsamer und langsamer Vorgang.

Selbst wenn das DCS heute Bestandteil des Industriellen Internets der Dinge (IIoT) ist, verlangen die großen Datenmengen („Big Data“), der hohe Grad der Automatisierung, die Verfügbarkeit kostengünstiger, präziser Sensoren, der praktisch unbegrenzte Speicherplatz und die Komplexität visueller Darstellungen ein

—  
IAM ermöglicht dem Bedienpersonal eine rasche Erkennung und Behandlung signifikanter Alarme.

einfacheres Leitsystem, das die Aufmerksamkeit des Bedienpersonals schnell auf relevante Informationen, d. h. auf möglichst wenige und wichtige Ereignisse/Alarme lenkt →01. Doch was wäre, wenn das Bedienpersonal kritische Ereignisse vorhersagen könnte, bevor diese auftreten? So könnten Produktions- und Umsatzeinbußen ebenso verhindert werden wie Anlagenausfälle und umwelt- bzw. sicherheitsgefährdende Ereignisse. Um dieses ultimative Ziel zu erreichen, hat ABB das Intelligent Alarm Management (IAM) System entwickelt.

— 01 Das Leitwarpersonal muss kritische Ereignisse schnell erkennen und entsprechende Maßnahmen ergreifen, um auftretende Probleme zu beheben. IAM unterstützt das Bedienpersonal, indem es die tatsächlichen Betriebsbedingungen der Anlage und verschiedene Analysen auf der Basis von Data-Mining-Verfahren nutzt, um Datenmuster zu erkennen.

### Intelligentes Alarmmanagement

Um die Benutzerfreundlichkeit des Leitsystems zu verbessern, müssen bei der Konzeption eines Alarmmanagementsystems heute Aspekte wie Ergonomie, Instrumentierung, Systemdenken, fortschrittliche Analytik und Visualisierung berücksichtigt werden. IAM baut auf der Expertise und Erfahrung von ABB in den Bereichen IIoT und DCS auf und übertrifft die Analyse- und Usability-Fähigkeiten bestehender Systeme. So verfügt es neben einer zusätzlichen Analyseebene zur Reduzierung von Flutter- bzw. Prellalarmen (hier „Entprellen“ genannt) über eine weitere Analyseebene mit drei Schichten: einer Datenschicht zur Extraktion von Alarmen und Generierung eines Alarmdatenmodells anhand von 25 Attributen; einer Analyseschicht mit neu entwickelten Algorithmen zur präzisen und wiederholten Analyse von Alarmdaten sowie einer Visualisierungsschicht mit einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) auf Basis des ABB User-Design-Konzepts zur Darstellung der Analyseergebnisse →02.

### Alarmer in Leitsystemen und ihr Management

Grundsätzlich informieren Alarmer das Bedienpersonal über Abweichungen von den normalen Betriebsbedingungen. Um wirksam eingreifen zu können, müssen die Bediener diejenigen Alarmer, die sofortige Aufmerksamkeit und Maßnahmen erfordern, schnell

und genau prüfen. Doch herkömmliche Systeme sind statisch, d. h. die Alarmer reagieren nicht auf Veränderungen im Betrieb oder in den Betriebsbedingungen. Schaltet sich in einer Petrochemieanlage ein großer

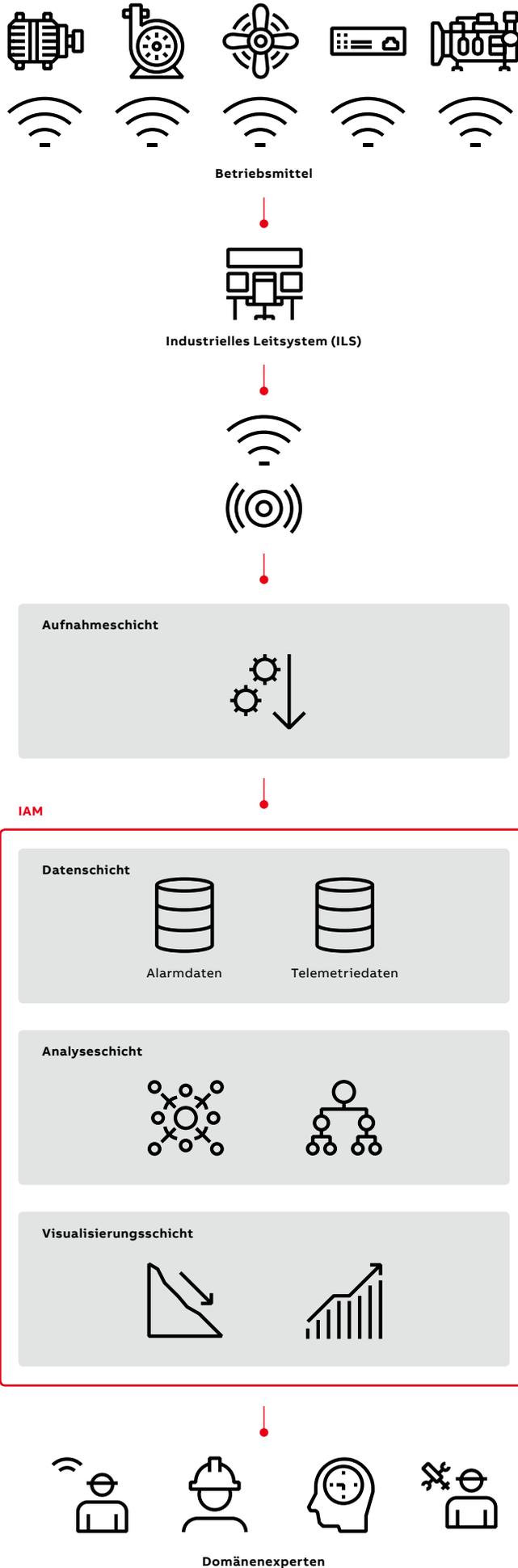
— Die intelligente Analyse wurde mithilfe historischer Daten von Öl- und Gasverarbeitungsanlagen entwickelt.

Kompressor ab, sind viele der daraus resultierenden Alarmer nicht kritisch und sekundär. Dennoch muss das Bedienpersonal Zeit für die Suche und Analyse aufwenden, was ebenso überflüssig wie lästig ist. IAM von ABB bietet eine Lösung für diese Problematik. Das dynamische System filtert Ereignisse und Alarmer auf der Basis der aktuellen Betriebsbedingungen der Anlage und ermöglicht dem Bedienpersonal so eine rasche Erkennung und Behandlung der signifikanten Alarmer.

Dazu bietet IAM fünf verschiedene Analysen an: ein tiefgehendes Entprellen der Alarmer,

01





quenzanalyse, eine Analyse kritischer Alarmer sowie eine Analyse nach Maskierungsregeln (Masking Rules) und eine Alarmflutanalyse. Bei allen diesen Methoden kommen Data-Mining-Verfahren zur Identifizierung von Datenmustern zum Einsatz.

**Entwicklung des IAM**

Die unter anderem mithilfe historischer Daten von Öl- und Gasverarbeitungsanlagen entwickelte Analyse basiert auf Konzepten wie der sogenannten Segmentierung – einem Prozess, bei dem Daten in geeignete Zeitintervalle „zerschnitten“ werden – und Metriken, die eine Priorisierung der Ergebnisse ermöglichen.

Die Segmentierung (auch als „Basketization“ bezeichnet) wird verwendet, um im Falle von Flatteralarmen sich wiederholende oder Alarmer mit kurzer Dauer zu speichern, um Alarmfolgen bei der Alarmsequenzanalyse in gleiche Zeitspannen aufzuteilen und um bei der Analyse kritischer Alarmer Alarmsequenzen zu identifizieren, die vor oder nach einem bestimmten Ereignis auftreten →03. Die Alarmlebensdauer – d. h. die Zeit zwischen der Rückkehr in den Normalzustand  $Rtn_t$

**IAM übertrifft die Analyse- und Usability-Fähigkeiten bestehender Systeme.**

(Return to Normal) und der Aktivierungszeit eines Alarms  $Act_t$  – und die Zeitabstände zwischen Alarmen (Time Gaps, TG) – d. h. die Zeit zwischen der Aktivierung eines Alarms und eines zweiten, späteren Alarms ( $TG_{B-A} = Act_{tB} - Act_{tA}$ ) – werden durch Datenattribute bestimmt →04. Diese werden für die Analyse zum Entprellen verwendet, wobei zwei neu entwickelte Algorithmen zum Einsatz kommen: ein Algorithmus für die Lebensdauer eines Alarms und seiner Wiederholfrequenz und ein Algorithmus für die sich wiederholenden Alarmer, bei denen der Zeitabstand zwischen Aktivierung und Rückkehr in den Normalzustand kurz ist. Nach Durchführung der Analyse zum Entprellen kann der Analyst entscheiden, ob die entsprechenden Alarmer aus dem Alarmprotokoll entfernt werden sollen.

**Die Sequenzmodellanalyse**

Nach dem Entprellen des Alarmprotokolls nutzt IAM die Aktivierungszeiten historischer Alarmdaten, um Alarmer zu identifizieren und charakterisieren, die häufig zusammen auftreten. Mithilfe zweier Messgrößen für die Signifikanz – Unterstützung und Zusammengehörigkeit – können Alarmsequenzen nach ihrer Relevanz eingestuft werden. Der Algorithmus erstellt vier gleiche „Zeitkörbe“ (Baskets) einer bestimmten Dauer, wobei jeder Korb die Alarmer aus dem Protokoll enthält – sortiert

—  
02 Industrielle Leitsysteme überwachen Betriebsmittel mithilfe von Sensoren. Diese leiten Informationen an das ILS weiter, das unwichtige Alarme herausfiltert. IAM von ABB fügt eine weitere Analyseebene mit drei Schichten hinzu: eine Datenschicht zur Extraktion und Generierung eines Alarmdatenmodells aus aktuellen Sensordaten und historischen Daten, eine Analyseschicht zur Analyse von Alarmdaten mithilfe von Algorithmen und eine Visualisierungsschicht zur Darstellung.

—  
03 Das Verfahren der Segmentierung ist wichtig für die Analyse von Alarmsequenzen und kritischen Alarmen. Für jede Analyse werden verschiedene Arten von Zeitkörben (Baskets) benötigt.

03a Beispiel für Baskets, die rund um einen spezifischen kritischen Alarm C generiert wurden, um Alarmsequenzen zu identifizieren, die vor und nach dem spezifischen Ereignis auftreten. Hier wurden jeweils vier vor- und rückwärtsgerichtete Baskets für den kritischen Alarm C der Länge t generiert.

03b Beispiel einer sog. Time Slice Basketization, erstellt mit dem neu entwickelten Sequence-Mining-Algorithmus von ABB. Der Algorithmus generiert drei gleiche „Zeitkörbe“, von denen jeder die im Alarmprotokoll aufgezeichneten Alarme enthält. Diese sind nach Zeitstempeln (Zeitpunkt der Alarmaktivierung) geordnet.

nach ihrer Aktivierungszeit. Der Sequence-Mining-Algorithmus identifiziert geschlossene Sequenzen von Alarmen mit Unterstützung – der Anteil von Beobachtungen im Datensatz, die die definierten Elemente enthalten. Anschließend wird die Zusammengehörigkeit verwendet, um die geschlossenen Sequenzen nach anerkannten Verfahren einzustufen [1].

**Analyse kritischer Alarme**

Jeder Bediener und Schichtführer in einer Prozessanlage versucht nicht nur, schnell auf kritische Ereignisse zu reagieren, sondern auch dafür zu sorgen, dass Notabschaltungen gar nicht erst notwendig werden. IAM erleichtert dies, indem es Alarme identifiziert, die häufig vor oder nach einem kritischen Alarm auftreten. Mithilfe der Alarmaktivierungszeiten im historischen Alarmprotokoll sowie Vorwärts- und Rückwärtsanalysen über eine bestimmte Zeitspanne (normalerweise 60 Minuten) identifiziert das Modell Alarmsequenzen rund um kritische Ereignisse. Jedem Ereignis ist ein Schweregrad zugeordnet, der die Kritikalität des Ereignisses bestimmt.

**Mehr Analyse, bessere Funktionalität**

Neben der Analyse zum Entprellen, der Alarmsequenzanalyse und der Analyse kritischer Alarme nutzt ABB eine Analyse nach Maskierungsregeln und eine Alarmflutanalyse, um dem Bedienpersonal eine noch bessere Funktionalität zu bieten. Mithilfe der Maskierungsregeln wird bestimmt, ob die Lebensdauer eines Alarms innerhalb der eines anderen Alarms liegt. Daraus lässt sich schließen, ob ersterer redundant ist oder nicht. Wie der Name vermuten lässt, erkennt die Alarmflutanalyse

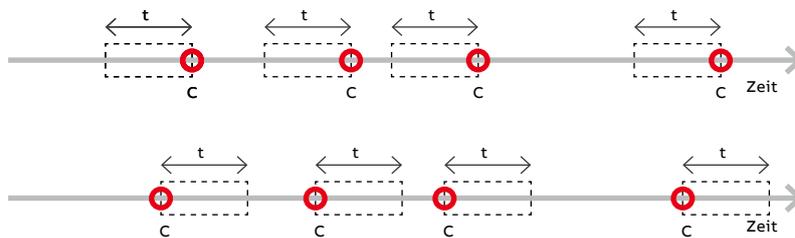
Wellen von Alarmen, die nach bestimmten Vorgängen in der Anlage – z. B. das Abschalten von Betriebsmitteln zur vorbeugenden Wartung oder Reinigung usw. – auftreten können. Entstehen keine neuen Alarme, kann es sein, dass diese Alarmfluten eventuell „normal“ sind und keine weiteren Maßnahmen seitens des Bedienpersonals erfordern.

**Visualisierung von Alarmen**

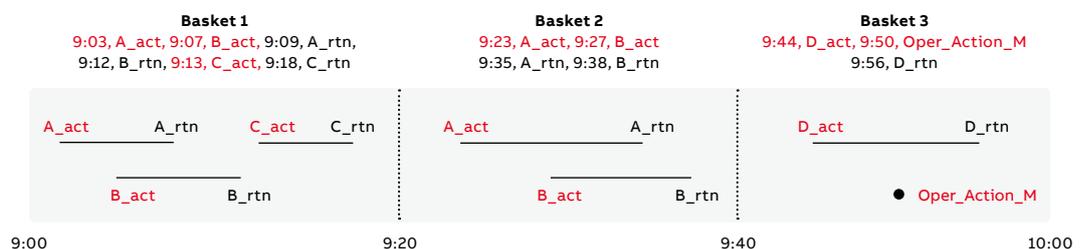
Nach umfangreichen Tests der Analysemodelle mit Daten aus der Öl- und Gasindustrie (die in erheblichem Maß zur Entwicklung von Alarmsystemen beiträgt) wurden verschiedene Visualisierungskonzepte zur Anzeige der Ergebnisse betrachtet. Schließlich soll das

—  
IAM nutzt fünf Analysen, um dem Bedienpersonal eine noch bessere Funktionalität zu bieten.

Bedienpersonal wissen, was zu tun ist, und wie viel Zeit dafür zur Verfügung steht. Gezielte Visualisierungen reduzieren die Belastung des Personals, ermöglichen eine bessere Vorhersage von Ereignissen und verbessern die Konfiguration des Alarmsystems [2]. Hier trafen die Entwickler auf einige bekannte Herausforderungen wie ein begrenztes Platzangebot und zu viele Daten auf dem Bildschirm oder verwirrende Farbgebungen. Es wurden entsprechende Konzepte auf der Grundlage von herkömmlichen Listenansichten →05a,



03a



03b

Attribut Nr.	Glob. Modul-attribut (fest)	Angaben mit Beispiel
1	Zeitstempel	Zeitpunkt, wenn das Ereignis auftritt. Verschiedene Formate möglich. Am gängigsten ist: MM/DD/YYYY hh:mm:ss.msec AM/PM, z. B. 7/19/2014 6:09:27.527 PM
2	Aktiv-Zeitstempel	Verbindet die verschiedenen Alarmzustände (z. B. RTN, inaktiv) mit dem Zeitpunkt, zu dem der zugehörige Alarm aktiv geworden ist.
3	Priorität	Kennzeichnet die Priorität eines Alarms durch einen Ordinalwert. Niedrige Werte (z. B. 1) stehen meist für kritische Situationen. Dient zur Identifizierung kritischer Alarme.
4	Bedingung	Kennzeichnet die jew. Bedingung für den Alarm, z. B. H, HH, L, LL usw.
5	Gerät	Zum Alarm gehöriges Gerät oder Anlagenteil
6	Prozessbereich	Prozessbereich der Anlage, dem der Alarm entstammt
7	Benutzer	Bediener, der einen Alarm anzeigt bzw. bearbeitet; typischerweise eine deskriptive Variable für den Namen bzw. Arbeitsplatz des Bedieners, z. B. John oder OL-PCD\erlst
8	Kategorie	ID der Ereigniskategorie

04

Sunburst-Diagrammen →05b und Parallelkoordinatendarstellungen →05b entwickelt, die sowohl die Darstellung der Alarmanalyse als auch die Datenfilterung und Gruppierung von Visualisierungen ermöglichen. Dabei wurden Kriterien wie Praktikabilität, Lesbarkeit und sinnvolle Gruppierung evaluiert und die am besten geeigneten Darstellungen für die jeweiligen Analysen entwickelt [2].

#### Das Alarmportfolio und die Vision von ABB

Das IAM-System wird produktisiert und zurzeit in die ABB Ability™ Symphony® Plus Software integriert [3]. Zur Durchführung einer Alarmanalyse werden historische Daten als Textdateien in verschiedenen Formaten in IAM importiert und anschließend mithilfe einer (entweder neu erstellten oder ebenfalls importierten) Mapping-Datei in ein globales Alarmmodell (GLAM) umgewandelt, das das kleinste gemeinsame Vielfache der historischen Alarmdaten darstellt und die Möglichkeit zur Speicherung bietet →06. Zurzeit definiert die Software zehn verschiedene Alarmaspekte, wobei aber je nach Anforderung des Kunden bis zu 52 individuelle Aspekte eingerichtet werden können.

Das neue System, ABB AlarmInsight® und ABB SafetyInsight™ wurden mit dem Ziel entwickelt, einen sicheren und zuverlässigen Betrieb in der Prozessindustrie über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage zu gewährleisten, und decken sowohl die anfängliche Engineering-Phase als auch die anschließende Betriebsphase ab.

In der Engineering-Phase werden digitalisierte Engineering-Daten benötigt, um mithilfe entsprechender Tools Gefahren zu dokumentieren, geeignete Barrieren zu

definieren und das „instrumentierte“ Sicherheits- und Alarmsystem zu konzipieren. In der Betriebsphase kommen kontextualisierte Betriebsdaten (IT/OT) zum Einsatz. Diese helfen dabei, die Performance des Alarm- und Sicherheitssystems zu überwachen, und ermöglichen die Umwandlung von Daten in verwertbare Informationen für eine informierte Entscheidungsfindung.

Die fortschrittliche Alarmanalyse hilft dabei, dass Entscheidungen bei der Rationalisierung von Alarmen auf der Basis von Fakten und weniger nach dem Bauchgefühl getroffen werden können. Die bei der Analyse gewonnenen Erkenntnisse können wiederum in die Engineering-Tools zurückgeführt und zur Optimierung und Pflege der Automatisierungs- und Sicherheitssysteme genutzt werden. So unterstützt der holistische Prozess von ABB das gesamte Alarmlebenszyklus-Management.

Die Grundlage der Vision von ABB für das Alarmmanagement bilden zum einen das Engagement des Unternehmens für Standards wie EEMUA 191 und ISA SP 18.2, die die Bedeutung eines robusten Alarmmanagements in Prozessanlagen unterstreichen, und zum anderen die umfangreichen Erfahrungen des Unternehmens mit Stromerzeugungsanlagen. Jeder Alarm sollte warnen, informieren und leiten. Alarme sollten in einer Anzahl und Geschwindigkeit präsentiert werden, die das

### Das IAM-Konzept von ABB bietet Prozessindustrien die Möglichkeit, Vorhersagen zu treffen.

Bedienpersonal bewältigen kann. Erkennbare Probleme sollten so früh wie möglich gemeldet werden, und das Kosten-/Nutzen-Verhältnis des Alarm-Engineerings sollte angemessen sein. S+ Operations, die Bedienoberfläche von ABB Ability® Symphony™ Plus, implementiert die neuesten IAM-Technologien von ABB mit dem Ziel, diese Vision in die Realität umzusetzen.

Das intelligente Alarmsystem von ABB umfasst zwei wichtige Teile, die nicht getrennt werden können: die technische Optimierung des Alarmsystems und die Optimierung der Bedienoberfläche. Dieser Entwicklungsansatz führt nicht nur zu einer besseren Wahrnehmung, schnelleren Reaktionszeiten und besseren Entscheidungen durch das Bedienpersonal, sondern bietet Prozessindustrien die Möglichkeit, Vorhersagen zu treffen. Die Fähigkeiten von S+ Operations, der Bedienoberfläche von ABB Ability Symphony Plus mit IAM, gehen weit über die deskriptiven Möglichkeiten der derzeit verfügbaren Alarmmanagementsysteme hinaus. •

#### Danksagung

Besonderer Dank gebührt den ursprünglichen IAM-Teammitgliedern Jinendra Gugaliya, Marcel Dix, Veronika Domova und Mithun Acharya für ihren wertvollen Beitrag zum IAM-Projekt. Weiter danken wir Roland Weiss und Alf Isaksson für ihre Unterstützung als Forschungsprogrammleiter während des Projekts.

—  
04 Tabelle mit acht kritischen Attributen, die zur Entwicklung des Alarmmanagementsystems verwendet wurden.

—  
05 Die GUI-Ansichten wurden gewählt, um eine maximale Lesbarkeit und Benutzerfreundlichkeit zu gewährleisten.

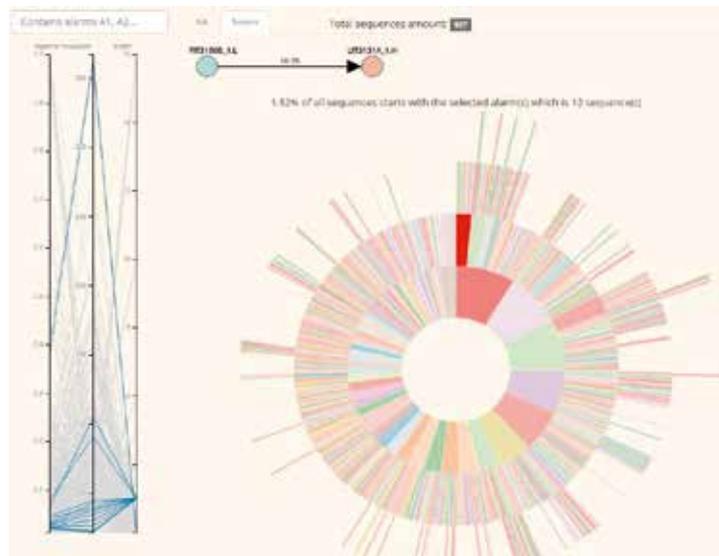
05a Prototyp der Oberfläche mit einer Listenansicht für die Analyse kritischer Ereignisse (rechts) und einem Parallelkoordinaten-Filter (links).

05b Visualisierung mit Sunburst-Diagramm (rechts) und Parallelkoordinaten-Filter (links). Je größer das Sunburst-Segment, desto größer die Zahl von Sequenzen, die mit dem betreffenden Alarm beginnen. Die Größe des Kreissegments spiegelt die Menge der Alarme wider. Je größer das Segment, desto mehr Alarme dieses Namens treten auf. Nähere Informationen zu den Sequenzen, die die gewählte Hierarchie enthalten, werden beim Überfahren mit der Maus angezeigt.

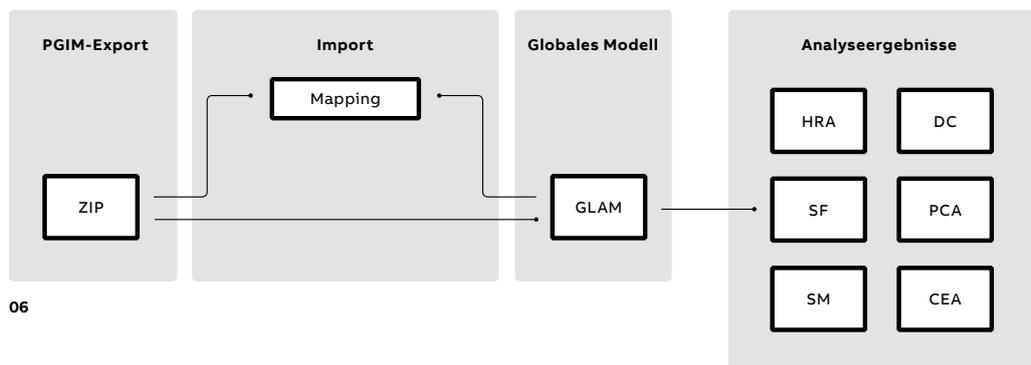
—  
06 Ablaufdiagramm für den Import historischer Alarmdaten in das System für verschiedene Analysen: HRA = Hiding/Masking Rules, DC = De-Chattering (Entprellen), SF = Similar Alarm Floods (eine Sequenzanalyse), PCA = Parent-Child Analysis, SM = Sequence Model Analysis, CEA = Critical Alarm Analysis.



05a



05b



06

—  
**Literaturhinweise**

[1] A. Dagnino: „Data Mining Methods to Analyze Alarm Logs in IoT Processes“. IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering. 22.–26. August 2019, Vancouver, Kanada. S. 1–14.

[2] V. Domova: „Intelligent Alarms Management: Sequences analysis visualization: Guided report on implementation“. ABB Internal Report, 2018. S. 1–37.

[3] ABB Ability™ Symphony® Plus: „Intelligent Alarm Management Technical Preview 1: Release Notes in Power Generation & Water“. ABB Internal Report, 2018. S. 1–57.



---

BLICKPUNKT KONNEKTIVITÄT

# Ein Netzanalysegerät steigert die Energieeffizienz von Gebäuden

Gebäude sind für 30 % des weltweiten Endenergieverbrauchs und 29 % der weltweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Vernetzte Geräte wie das neue M4M-Netzanalysegerät von ABB helfen dabei, diese Auswirkungen zu reduzieren, indem sie eine genaue Überwachung von Energiedaten in Echtzeit ermöglichen und Kunden dabei helfen, die Energieeffizienz ihrer Gebäude zu verbessern.



—  
Titelbild: Dank genauer Echtzeit-Überwachung von Energiedaten ermöglichen Geräte wie die neuen M4M-Netzanalysegeräte von ABB einen intelligenten Betrieb von Gebäuden.

Laut dem Global Status Report 2017 des Umweltprogramms der Vereinten Nationen und der Internationalen Energieagentur entfallen 30 % des weltweiten Endenergieverbrauchs und 29 % der weltweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Gewerbe- und Wohngebäude [1]. Trotz dieser gewaltigen Zahlen vermerkt der Bericht auch, dass sich die Energieintensität im Gebäudesektor (gemessen an der Energienutzung pro m<sup>2</sup>) jährlich im Schnitt um 1,5 % verbessert.

Tatsächlich erreichen heutige intelligente Gebäude, die Technologien zur digitalen Energieüberwachung und Steuerung miteinander vernetzen, eine Effizienz, wie

—  
**Vernetzte Geräte wie die M4M-Netzanalysegeräte erlauben die präzise Überwachung von Energiedaten in Echtzeit.**

sie vor dem Aufkommen des Internets der Dinge (IoT) und skalierbarer Technologien nicht möglich war. So erlauben vernetzte Geräte wie die neuen M4M-Netzanalysegeräte von ABB eine präzise Überwachung von

Energiedaten in Echtzeit und ermöglichen Kunden eine Steigerung der Effizienz ihrer Gebäude bei gleichzeitiger Reduzierung der Umweltbelastung.

#### **Robuste Echtzeit-Überwachung**

Die Bluetooth-fähigen und ABB Ability™-nativen Netzanalysegeräte der M4M-Familie ermöglichen eine umfassende Analyse der Netzqualität und eine genaue Überwachung der Energieeffizienz von Gewerbegebäuden, Industriegebäuden und Rechenzentren →01.

Bei Gewerbegebäuden kann durch die Integration in das skalierbare Portfolio der digitalen Energie- und Asset-Management-Lösungen von ABB der Echtzeit-Energieverbrauch und die Leistungsüberwachung genutzt werden, um zusätzliche Kosten und Strafen für Spitzenstrom zu vermeiden. In Industriegebäuden ermöglicht M4M eine einfache Überwachung und Steuerung des Stromnetzes zur Vermeidung von Ausfällen, Schäden an Geräten und Unterbrechungen kritischer Prozesse. Benutzerdefinierte Warnungen erhöhen dabei die Reaktionsfähigkeit auf mögliche Ereignisse im elektrischen System, verbessern den Betrieb und unterstützen eine schnellere Wartung.

In Rechenzentren ermöglichen die M4M-Netzanalysegeräte eine robuste Überwachung der Stromversorgung und der Netzqualität, um Schäden an installierten

—  
**Jerzy Wasacz**  
**Jakub Kozak**  
ABB Corporate  
Technology Center  
Krakau, Polen

jerzy.wasacz@pl.abb.com  
jakub.kozak@pl.abb.com

—  
**Alessandro Grieco**  
**Luciano Di Maio**  
**Tamara Duricic**  
ABB S.p.A.  
Vittuone, Italien

alessandro.grieco@  
it.abb.com  
luciano.di\_maio@  
it.abb.com  
tamara.duricic@  
it.abb.com



01

## Die Geräte decken den gesamten Zyklus von Design und Spezifikation bis hin zu Betrieb und Wartung ab.

Geräten, Abschaltungen und Überlastungen zu vermeiden, die zu Ausfallzeiten führen können. Damit decken die M4M-Netzanalysegeräte den gesamten Zyklus von Design und Spezifikation über Installation und Inbetriebnahme bis hin zu Betrieb und Wartung ab →02.

### Familiengefühl

Die M4M-Netzanalysegeräte sind in zwei Varianten erhältlich – als M4M 20 mit einem grafischen Farbdisplay und fünf Bedientasten und als M4M 30 mit einem Touchscreen-Farbdisplay →03. Diese unterstützen die Darstellung von Leistungsüberwachungsinformationen von der grundlegenden bis hin zur umfassenden Analyse der Netzqualität und Beurteilung der Energie-

effizienz. Dank der einheitlichen Produktmerkmale innerhalb der Familie ist der Lernaufwand für den Kunden sehr gering.

Dazu gehört ein umfassendes Angebot an integrierten Kommunikationsprotokollen und E/A-Optionen bei beiden Varianten, ein identisches Gehäuse, ein identischer Installations- und Verdrahtungsprozess und eine identische Bedienoberfläche (HMI) mit kontextrelevanter Anpassung der Funktionen. Die HMIs beider Modelle entsprechen den UX-Richtlinien von ABB für intuitive Bedienschnittstellen hinsichtlich Inhalt, Benennung und Reihenfolge der Menüpunkte, was die Benutzung aller Produkttypen innerhalb der M4M-Reihe vereinfacht. Der einzige Unterschied besteht darin dass, die HMI beim M4M 30 in vier Bereiche und beim M4M 20 in drei Bereiche unterteilt ist.

### Zugriff auf vielfältige Daten

Die Datenanzeige ist ein wesentlicher Bestandteil der HMI bei jedem Messgerät, denn sie erlaubt dem Nutzer das unmittelbare Ablesen von Minimal-, Maximal- und Durchschnittswerten von Echtzeitparametern wie

— 01 Die M4M-Familie ermöglicht eine umfassende Analyse der Netzqualität und genaue Überwachung der Energieeffizienz von Gewerbegebäuden, Industriegebäuden und Rechenzentren.

— 02 Die M4M-Netzanalysegeräte decken den gesamten Zyklus von Design und Spezifikation über Installation und Inbetriebnahme bis hin zu Betrieb und Wartung ab.

Spannung, Strom und Leistung sowie von Kennzahlen (KPIs) für die Netzqualität wie harmonische Gesamtverzerrung (THD) und Phasenasymmetrien, die alleamt IEC-Normen entsprechen müssen.

Gemessen werden darüber hinaus Energiewerte, bezogen auf Tarife für die zeitabhängige (TOU) Verbrauchsmessung oder als 4-Quadranten-Darstellung zur Berücksichtigung von Energieverbrauch und lokaler Erzeugung. Für den Zugriff auf die benötigten Informationen sind nur wenige Schritte in der Menüstruktur erforderlich, die sich durch übersichtliche Listen und Untermenüs mit klaren Titeln und Untertiteln auszeichnet →04.

Im zweiten Bereich der HMI können Darstellungen der wichtigsten Echtzeitparameter als Diagramme und Wellenformen abgerufen werden →05. Dazu werden Signale über zwei Netzperioden gespeichert. Außerdem bieten die M4M-Netzanalysegeräte Visualisierungen von Oberschwingungen, z. B. um festzustellen, ob nicht-lineare Lasten das elektrische System beeinflussen. Spannungs- und Stromüberschwingungen werden bis zur 15. auf der HMI angezeigt, während einzelne Oberschwingungen bis zur 40. gemessen werden. Ferner wird das Verhältnis zwischen Spannung und Strom in einem Phasordiagramm dargestellt. Phasordaten werden als numerische Werte angezeigt →06.

Das M4M 30 bietet zudem eine historische Ansicht wichtiger Messdaten, die von einem 7-MB-Flash-Speicher unterstützt wird. Diese Funktion ermöglicht die Speicherung von Durchschnittswerten der wichtigsten Echtzeit-Messgrößen über ein bestimmtes Zeitintervall hinweg sowie die Speicherung von drei minimalen und

**Dank der einheitlichen Produktmerkmale ist der Lernaufwand für den Kunden sehr gering.**





03

maximalen Bedarfswerten für bis zu 25 benutzerdefinierte Speicherkanäle →07.

Energetische Momentaufnahmen und Trenddarstellungen liefern Informationen zu 20 Energieparametern bzw. zum Energieverbrauch über einen bestimmten Zeitraum, wobei jede Verbrauchskurve die letzten 12 gespeicherten Energiewerte enthält.

Die Konfiguration der Netzanalysegeräte wird durch eine Liste von Standardwerten, eine intuitive Dateneingabe und Pop-Ups mit Rückmeldungen für

---

### Trenddarstellungen liefern Informationen zum Energieverbrauch über einen bestimmten Zeitraum.

den Nutzer vereinfacht und beschleunigt. Benutzerdefinierte Passwörter gewährleisten die Sicherheit und verhindern Änderungen durch unberechtigte Personen →08. Ein Audit-Protokoll innerhalb des Zählers speichert die Konfigurationsdaten und versieht jede bedeutende Änderung mit einem Zeitstempel.

Darüber hinaus steht ein Inbetriebnahme-Assistent zur Verfügung, der den Nutzer beim erstmaligen Einschalten oder nach dem Zurücksetzen des Geräts auf die Werkseinstellungen durch die Grundeinstellungen führt.

Benachrichtigungen lassen sich in Alarme, Warnungen und Fehler unterteilen. Alarme kennzeichnen Grenzwertverletzungen und können in Protokollen gespeichert sowie mit E/As verknüpft werden. Das M4M 30 ist in der Lage, komplexe Alarme zu verarbeiten, wobei einfache Alarme zu einer Einheit kombiniert werden können. Warnungen beziehen sich auf Installationsbedingungen, während Fehler an die Selbstdiagnose des Geräts übergeben werden.

#### Gut erkennbare Daten

Die HMI-Software des M4M nutzt fortschrittliche eingebettete Bibliotheken mit grafischen Grundformen (Primitiven), die perfekt auf das 3,5" große QVGA-Farbdisplay (320 x 240 Pixel), das bis zu 65.000 Farben unterstützt, abgestimmt sind. Das Ergebnis ist eine hervorragende Erkennbarkeit der Echtzeitwerte, Trenddarstellungen, Symbole und 2D-Diagramme unabhängig von den Lichtverhältnissen.

Die Displaysteuerung des M4M wird von einem internen Mikrocontroller (MCU) unterstützt, der für die Darstellung der Unicode-Zeichensätze für lateinische, europäische, kyrillische und vereinfachte Schriften optimiert ist. Damit können die Menüs flexibel in lokalen Sprachen einschließlich vereinfachter chinesischer Schriftzeichen angezeigt werden.

#### Vollständig vernetzte Leistungsüberwachung

Die M4M-Netzanalysegeräte unterstützen die industriellen Kommunikationsprotokolle Modbus, BACnet/IP und Profibus DP-V0 und decken somit die wichtigsten Zielanwendungen für die Netzqualitätsanalyse ab.

—  
03 Die HMI des M4M 20 ist in drei, die des M4M 30 in vier Bereiche unterteilt.

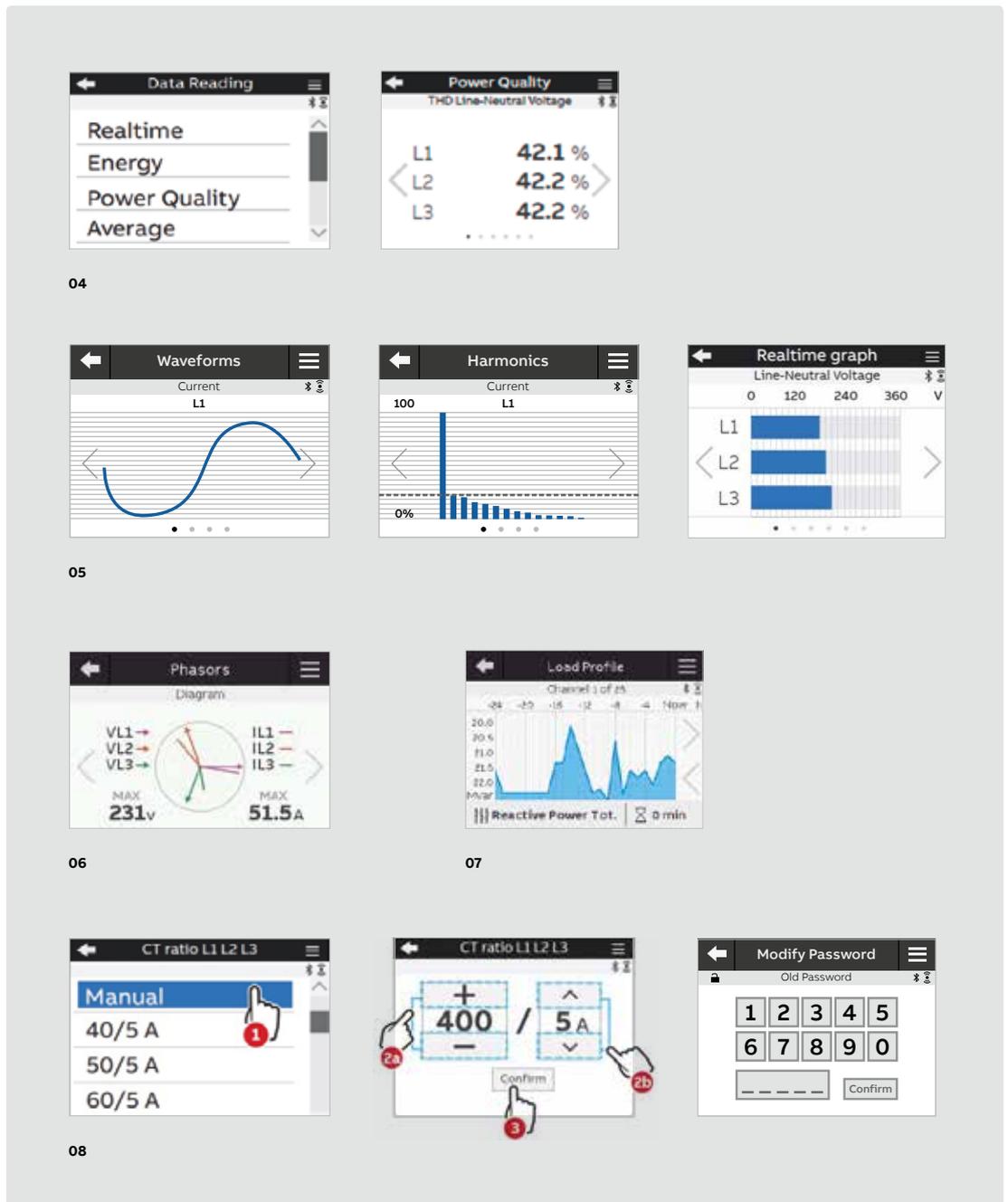
—  
04 Die wichtigsten Daten können mit wenigen Schritten abgerufen werden.

—  
05 Die HMI ermöglicht die Darstellung der wichtigsten Echtzeit-Parameter in Form von Balkendiagrammen und Wellenformen.

—  
06 Das Verhältnis zwischen Spannung und Strom wird in einem Phasordiagramm dargestellt. Phasordaten werden als numerische Werte angezeigt.

—  
07 Die historische Ansicht wichtiger Messdaten des M4M 30 wird von einem 7-MB-Flash-Speicher unterstützt.

—  
08 Beim ersten Einschalten bzw. nach dem Zurücksetzen des Geräts führt ein Inbetriebnahme-Assistent durch die Grundeinstellungen. Benutzerdefinierte Passwörter verhindern Änderungen durch unberechtigte Personen.



Die Kommunikationsschnittstelle ermöglicht den Fernzugriff auf die Gerätedaten und deren Integration in Verteilungsmanagement- (DMS-), Gebäudemanagement- (BMS-) und SCADA-Systeme sowie Cloud-Dienste.

Das speziell für die Gebäudeautomatisierung ausgelegte Protokoll BACnet garantiert die vollständige Interoperabilität der M4M-Netzanalysegeräte mit anderen BACnet-kompatiblen Geräten mithilfe klarer

—  
Unterstützt werden Unicode-Zeichensätze für lateinische, europäische, kyrillische und vereinfachte Schriften.

## M4M-NETZANALYSEGERÄTE IN KÜRZE

### Umfassende Konnektivität

Die Ability™-nativen und Bluetooth-fähigen M4M-Analysegeräte profitieren von der Skalierbarkeit der ABB Energie- und Asset-Management-Lösung: von der Stand-alone-Visualisierung und Inbetriebnahme per HMI, mobiler EPiC App oder Ekip Connect Desktop-Software bis zur Überwachung ganzer elektrischer Systeme mit ABB Ability™ EDCS.

### Einfach und intuitiv

Kompakte Abmessungen, abnehmbare Klemmen und Rogowski-Spulen ermöglichen eine einfache und schnelle Konfiguration. Ein Touchscreen-Farbdisplay, eine mobile App und eine Desktop-Software sorgen für eine intuitive Bedienung und einen einfachen Datenzugriff.

### Energieeffizienz

Die M4M-Netzanalysegeräte bieten eine umfassende Analyse der Netzqualität und eine genaue Überwachung der Energieeffizienz mithilfe elektrischer Parameter und erweiterter KPIs für die Netzqualität. Dies ermöglicht eine einfache Datenaggregation und unkomplizierte Benchmark-Analysen über ABB Ability™ EDCS.

### Überwachung in Echtzeit

Die M4M-Netzanalysegeräte bieten Zugriff auf Informationen aus allen Bereichen eines Systems. Umfangreiche, präzise Daten und interaktive Benachrichtigungen erhöhen die Reaktionsfähigkeit auf Ereignisse und helfen dabei, Überlastungen, Ausfälle und unkoordinierte Wartung zu vermeiden.

und eindeutiger Regeln für die Kommunikation zwischen Geräten. Dieses Merkmal des M4M, das in vollständigem Einklang mit den Anforderungen der BACnet Testlabore (BTL) steht, trägt zur Zukunftssicherheit der Kundeninvestition bei.

Im Hinblick auf industrielle Automatisierungsprozesse ermöglicht die Profibus-Schnittstelle des M4M die Integration in Echtzeit-Kommunikationsnetze mit mehreren Mastern (Multi-Master-Systeme).

Alle M4M-Netzanalysegeräte sind mit einem Bluetooth-Low-Energy-Modul der Version 4.2 ausgestattet, das die Verbindung zur mobilen EPiC App (erhältlich für iOS- und Android-Systeme) ermöglicht. Die App unterstützt eine effiziente Inbetriebnahme bei der Installation vieler M4M-Einheiten. So können z. B.

## Die Profibus-Schnittstelle ermöglicht die Integration in Multi-Master-Systeme.

Zählereinstellungen auf mehrere Geräte repliziert werden, um die Konfiguration zu beschleunigen. Bei der Kommunikation zwischen M4M und der mobilen EPiC App kommen Verschlüsselungsalgorithmen zum Einsatz, um die Daten bei der Übertragung zu schützen und vernetzte Services zu authentifizieren. Gleichzeitig werden strengste Cybersicherheitsanforderungen erfüllt, um Man-in-the-Middle-Angriffe zu verhindern.

### Skalierbare Services

Das Ziel von ABB ist es, umfassende Lösungen bereitzustellen – von einzelnen M4M-Analysegeräten bis hin zur vollständigen Integration in das cloudbasierte ABB Ability™ Electrical Distribution Control System (EDCS).

Ist das M4M dazu autorisiert, automatisch auf das ABB Ability™ EDCS zuzugreifen, erkennt es die installierten Produktversionen und liest die erforderlichen Register aus, was eine nahtlose Integration gewährleistet. Die Verbindung zum ABB Ability™ EDCS bietet Kunden nicht nur einen vollständigen Überblick über ihren Energiebedarf, sondern auch die Möglichkeit, diesen zu optimieren →09.

Mithilfe der Ekip Connect Desktop-Software können die M4M-Analysegeräte aus der Ferne konfiguriert werden. Sie ermöglicht den Zugang zu ABB Library-Servern zum Update der Firmware über verschlüsselte Images. So ist sichergestellt, dass nur Original-Firmware von ABB auf dem Gerät installiert wird.

### Hardware-Architektur

Die Netzanalysegeräte der M4M-Familie bieten verschiedene Optionen für die Peripherie. Aus den

— 09 Hauptvorteile der M4M-Netzanalysegeräte.

— 10 Peripherieoptionen können mithilfe dedizierter PCBAs konfiguriert werden, die Eingangs-/Ausgangs- und Kommunikationsfunktionen bereitstellen.

verschiedenen E/A- und Kommunikationsoptionen sowie den zwei verschiedenen Displays ergeben sich insgesamt 13 mögliche Konfigurationen. Dieses hohe Maß an Flexibilität wird durch das modulare Hard- und Softwaredesign des M4M erreicht.

Hierbei werden bestückte Leiterplatten (PCBAs) im Stapel übereinander angeordnet →10. Peripherieoptionen können mithilfe dedizierter PCBAs konfiguriert

—  
Kunden bekommen nicht nur einen Überblick über ihren Energiebedarf, sondern können ihn auch optimieren.

—  
**Literaturhinweis**

UN Environment and International Energy Agency (2017): „Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global Status Report 2017“. Online verfügbar unter [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188\\_GABC\\_en%20%28web%29.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf)

werden, die Eingangs-/Ausgangs- und Kommunikationsfunktionen bereitstellen. Dies ermöglicht den Tausch von digitalem E/A, analogem Ausgang, serieller Kommunikation, Ethernet-Kommunikation oder Daisy-Chain-Ethernet.

Die untere Leiterplatte ist verantwortlich für die Stromversorgung und die Messungen. Hier hat der Nutzer die Wahl zwischen der normalen Ausführung und einer zum Anschluss von Rogowski-Spulen geeigneten Version. Die obere Leiterplatte beherbergt den Hauptmikrocontroller, Bluetooth, HMI-Unterstützung, Speicher, Echtzeituhr,

LEDs und einen Teil der analogen Schaltung. Zwei Varianten der PCBA ermöglichen die Wahl zwischen einem Touchscreen-Display und einer HMI mit Bedientasten.

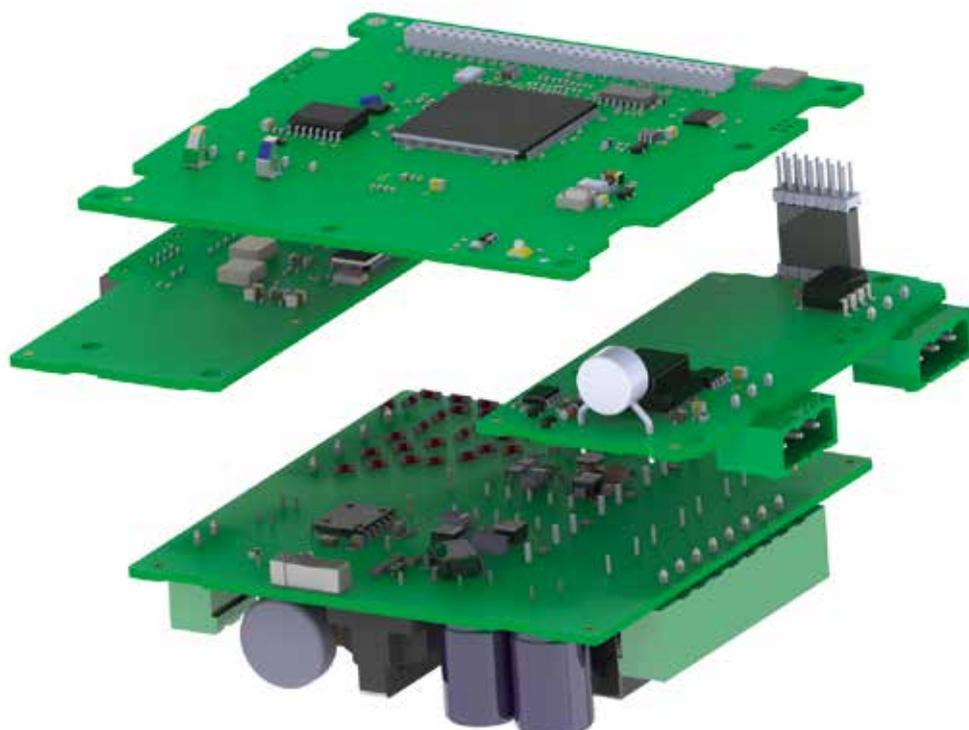
Die Hauptanwendung des Analysegeräts läuft auf einem Mikrocontroller mit einem ARM M4 Cortex-Kern, der das Echtzeit-Betriebssystem optimal unterstützt und die analoge Signalverarbeitung, die mathematischen Algorithmen für die Netzqualitätsanalyse sowie die Display- und Kommunikationssteuerung verwaltet.

Die drahtlose Kommunikation wird von einem dedizierten Coprozessor unterstützt, der für die Funkkommunikation mit dem Host zuständig ist.

**Automatisierte M4M-Produktion**

Die M4M-Netzanalysegeräte werden in einer für eine hohe Kapazität ausgelegten automatisierten Produktionslinie montiert und getestet, die eine nahtlose Rückverfolgbarkeit aller Komponenten und Testergebnisse von der ersten Montagestation bis hin zur Verpackung und Lagerung gewährleistet. Handhabungsroboter, die von einem Zentralrechner gesteuert werden, bewegen die Geräte behutsam von einer Teststation zur nächsten, bis alle Prüfungen erfolgreich abgeschlossen sind.

Ein spezieller Generator versorgt die wichtigsten Teststationen mit äußerst präzisen Strom- und Spannungssignalen, um bei der Kalibrierung der Geräte eine bestmögliche Signalqualität zu gewährleisten. Strenge Akzeptanzkriterien sorgen dafür, dass nur perfekt kalibrierte Produkte den Kunden erreichen. •





—  
01 Der neue ABB Ability Smart Sensor ist speziell für explosionsgefährdete Bereiche ausgelegt.

## BLICKPUNKT KONNEKTIVITÄT

# Smart Sensor für explosionsgefährdete Bereiche

Der im Jahr 2016 eingeführte ABB Ability™ Smart Sensor ist mittlerweile in Tausenden von Kundenanwendungen weltweit im Einsatz. Nun bringt ABB einen neuen Smart Sensor auf den Markt, der sich für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen eignet.

—  
**Manuel Oriol**  
**Der-Yeuan Yu**  
ABB Motion, Motors and Generators  
Baden, Schweiz

manuel.oriol@ch.abb.com  
der-yeuan.yu@ch.abb.com

**Maciej Orman**  
ABB Business Services  
Sp. z o.o.  
Motion, Motors and Generators  
Krakau, Polen

maciej.orman@pl.abb.com

**Neethu Tp**  
ABB Global Industries and Services Private Limited  
Motion, Motors and Generators  
Bangalore, Indien

neethu.tp@in.abb.com

**Geir Svoen**  
ABB AS  
Industrial Automation, Energy Industries  
Oslo, Norwegen

geir.svoen@no.abb.com

**Philipp Sommer**  
**Gerd Schlottig**  
**Alexey Sokolov**  
**Ștefan Stănculescu**  
**Felix Sutton**  
ABB Corporate Research  
Baden-Dättwil, Schweiz

philipp.sommer@ch.abb.com  
gerd.schlottig@ch.abb.com  
alexey.sokolov@ch.abb.com  
stefan.stanculescu@ch.abb.com  
felix.sutton@ch.abb.com

In den vergangenen zehn Jahren hat ABB mehrere integrierte intelligente Sensoren wie den WiMon 100, den ABB Ability Smart Sensor für Motoren, den ABB Ability Smart Sensor für Pumpen und den ABB Ability Smart Sensor für Stehlagere auf den Markt gebracht.

Die im Jahr 2016 eingeführte ABB Ability Smart Sensor-Familie ist mittlerweile in Tausenden von Kundenanwendungen weltweit im Einsatz. Was bisher jedoch fehlte, war eine kostengünstige Version

—  
ABB hat eine neue Generation von Smart Sensors für explosionsgefährdete Umgebungen entwickelt.

des Produkts für rotierende Maschinen in explosionsgefährdeten Bereichen. Um diese Lücke zu füllen, hat ABB eine neue Generation von ABB Ability Smart Sensors entwickelt, die in explosionsgefährdeten Umgebungen eingesetzt werden können. Um sicherzustellen, dass der neue Sensor solchen Bedingungen standhält –

und eine Verbesserung gegenüber vorhandenen Sensoren darstellt –, galt es, extreme konstruktive Anforderungen zu erfüllen. So muss das Gerät unter anderem:

- hochfrequente Vibrationen messen,
- physisch in der Lage sein, rauen und explosiven Umgebungsbedingungen standzuhalten,
- eine Lebensdauer besitzen, die der Lebensdauer der meisten überwachten Betriebsmittel entspricht – mit einer nicht austauschbaren und nicht wieder-aufladbaren Batterie,
- eine flexible Firmware-Architektur nutzen, um zukünftigen Produktanforderungen gerecht zu werden →01–02.

### Herausforderung 1: Messung von Vibrationen

Während die meisten vergleichbaren Sensoren auf dem Markt lediglich Vibrationen und die Temperatur messen, misst der ABB Ability Smart Sensor Vibrationen, Magnetfeld, Temperatur und Geräusche. Damit ist der Sensor in der Lage, die Drehgeschwindigkeit von Motoren mit sehr hoher Genauigkeit zu messen.

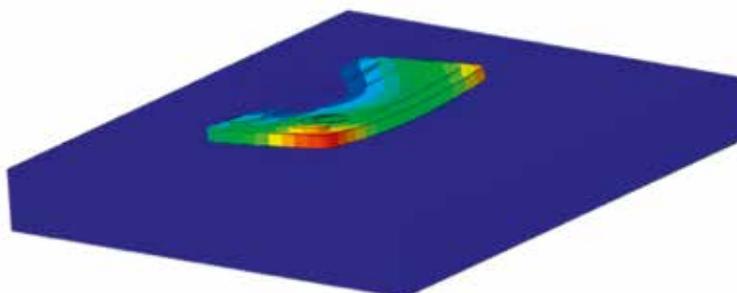
Vibrationssensoren finden zwar in der Unterhaltungselektronik und der Industrieautomatisierung zunehmend Verwendung, doch die Konstruktion eines hochwertigen Vibrationssensors ist keine einfache Aufgabe. So muss z. B. verhindert werden, dass Reso-



02

nanzen, die irgendwo im Sensorkörper auftreten, sich auf die Schwingungsaufnehmer auswirken, die die Vibrationen von der überwachten Maschine erfassen. Dies wird durch eine Vielzahl von Aspekten wie Positionierung, Halterungen und Befestigungsmethode erschwert. Hierfür eine möglichst kostengünstige Lösung zu finden, ist ein komplexer Zielkonflikt, den es zu lösen gilt.

In einem Versuch wurde eine große Stahlblechplatte unterhalb des Sensors verwendet, um eine möglichst direkte Übertragung der Vibrationen von der überwachten Anlage sicherzustellen. Der Sensor verfügte über zwei elektronische Platinen – eine, die an die Metallplatte geklebt wurde (die wiederum an die Anlage geschraubt wurde), und eine, die nur über ein flexibles Kabel mit der Platte und der anderen Platine verbunden war →03.



03

Die erste Version der Metallplatte zeigte ein ungünstiges Eigenresonanzverhalten: Resonanzkräfte vom Sensorkörper pflanzten sich zur Metallplatte fort und wurden von den Schwingungsaufnehmern erfasst. Mithilfe eines detaillierten Modells des Sensors und der Metallplatte

Die Metallplatte haftet an der Maschine, ohne Vibrationskräfte an die Schwingungsaufnehmer zu übertragen.

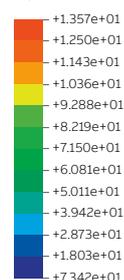
konnte jedoch eine Vielzahl von Alternativen simuliert werden. Daraus ergab sich schließlich eine Metallplatte, die nicht nur an der Maschine haftet, ohne Vibrationskräfte vom Sensorkörper an die Schwingungsaufnehmer zu übertragen, sondern auch die Kostenvorgaben erfüllt →04.

#### Herausforderung 2: Bau eines Sensors für explosionsgefährdete Bereiche

Sensoren, die für explosionsgefährdete Bereiche und den weltweiten Einsatz zertifiziert werden sollen, müssen eine Vielzahl strikter Anforderungen erfüllen. Diese sind in mehreren Normen festgelegt und umfassen unter anderem:

- Ein interner Kurzschluss in der Batterie darf zu keiner Erwärmung führen, die Gas entzünden kann.
- Die interne Hardware darf keine Wärme oder Funken erzeugen, an denen sich Gas entzünden kann.

U, Absolutwert



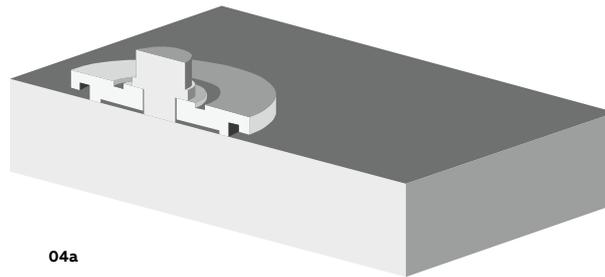
—  
02 Widerstandsfähigkeit, Langlebigkeit, ein zukunftsicheres Design und die Fähigkeit, Vibrationen zu messen, gehörten zu den Designanforderungen an den neuen Sensor.

—  
03 Das Modell einer frühen Version der Metallplatte zeigt starke Verformungen bei der Resonanzfrequenz.

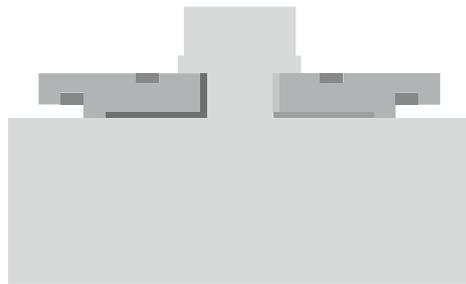
—  
04 3D-Modell der Metallplatte.

04a Sensorbasis mit Zapfen (Schrägansicht).

04b Sensorbasis mit Zapfen (Seitenansicht).



04a



04b

- Wird das Gehäuse beschädigt und der Sensor mit leitfähigem Material gefüllt, dürfen keine Wärme oder Funken entstehen, an denen sich Gas entzünden kann.
- Der Sensor muss den aus seiner Umgebung resultierenden Belastungen standhalten.

Zur Erfüllung der ersten Anforderung wird üblicherweise geprüft, welche Temperatur unter extremen Bedingungen erreicht werden kann. Bei batteriebetriebenen Sensoren muss die bei kurzgeschlossenen Batterien entstehende Temperatur unterhalb

—  
Der Sensor besitzt eine bis zu dreimal längere Batterielebensdauer als vergleichbare Geräte.

dem normierten Höchstwert bleiben (135 °C für die Temperaturklasse T4). Das Design des Smart Sensors für explosionsgefährdete Bereiche erfüllt dieses Temperaturkriterium. Außerdem wird Wärme in die übrige mechanische Struktur geleitet und vom Kunststoff des Gehäuses aufgenommen.

Bei der letzten oben genannten Anforderung muss der Sensor zeigen, dass er auch extremen Umgebungsbedingungen standhalten kann. Vorgesehen war ein Betriebsbereich von -40 bis +85 °C, wie er für die meisten elektronischen Bauteile typisch ist.

Im Rahmen von HALT-Versuchen (stark beschleunigte Lebensdauerprüfungen) wurde der Sensor Zyklen mit hohen und niedrigen Temperaturen und einer Kombination aus starken Vibrationen und extremen Temperaturen ausgesetzt, um seine Robustheit außerhalb des Nennbetriebsbereichs zu prüfen. Die Ergebnisse der HALT-Versuche zeigen, dass der Sensor Temperaturen von -70 bis +130 °C standhalten kann, was deutlich über der ursprünglichen Zielsetzung liegt →05.

### Herausforderung 3: Bau eines batteriebetriebenen drahtlosen Sensors mit langer Lebensdauer

Der ABB Ability Smart Sensor für explosionsgefährdete Bereiche besitzt eine bis zu dreimal längere Batterielebensdauer als die meisten vergleichbaren Geräte und erreicht damit eine ähnliche Lebensdauer wie die des überwachten Betriebsmittels. Außerdem profitiert der Sensor von der vergrößerten Reichweite des Bluetooth-5-Protokolls. Die Hauptbatterie kann weder ersetzt noch wieder aufgeladen werden. Austauschbare oder wiederaufladbare Batterien sind aus folgenden Gründen nicht wünschenswert:

- Austauschbare Batterien könnten die Kosten für den Sensor so weit ansteigen lassen, dass ein Tausch des gesamten Sensors sinnvoller wird als der Tausch der Batterie. Durch einen neuen Sensor erhält man dazu häufig auch aktuelle elektronische Komponenten mit höherer Leistung.
- Es besteht die Gefahr, dass durch falsches Einsetzen neuer Batterien der Explosionsschutz beeinträchtigt wird.



05a

- Der Schutz gegen das Eindringen von Staub und Wasser kann durch falsch eingesetzte Batterien ebenfalls beeinträchtigt werden.

Das kombinierte Ziel, ein eingebettetes System mit einer erwarteten Lebensdauer von bis zu 15 Jahren zu entwickeln und gleichzeitig die verbleibende Batterie-Lebensdauer anzuzeigen, ist aus folgenden drei Gründen schwierig:

- Um den internen Leckstrom zu begrenzen, darf die Batterie nur einer moderaten Temperatur ausgesetzt sein.
- Um ein Abbrechen der Lötstellen zu verhindern, dürfen zur Schnittstelle zwischen Batterie und Sensoren keine Vibrationskräfte übertragen werden.
- Der Energieverbrauch des Sensors muss auch bei einer großen installierten Batterie gering gehalten werden.



05b

Beim neuen Sensor sind die Batterie und die Lötstellen in einem eigenen Batteriehalter untergebracht. Dieser ist durch einen Luftspalt von den primären Wärmequellen getrennt, was die Batterie gegen die von der überwachten Anlage ausgehende Wärme schützt →06.

Zur Überprüfung des temperaturabhängigen Leckstroms der Batterie misst der Sensor die Batterietemperatur im laufenden Betrieb und schätzt den entsprechenden Leckstrom mithilfe eines bewährten Batteriemodells.

Zum Bestimmen der Batterie-Ladung nutzt die Firmware ein Punktesystem, um die im normalen Sensorbetrieb verbrauchte Ladung zu berechnen. Die meiste Zeit befindet sich der Sensor in einem tiefen Ruhezustand und verbraucht nur sehr wenig Energie. Wird er aber aktiviert, steigt der Energieverbrauch. Der Sensor erfasst, wie lange jeder

—  
 Statt einer vorgegebenen Lebensdauer und einem angenommenen Verbrauch wird die tatsächliche Batterienutzung erfasst.

Verbrauchsvorgang – z. B. die Aktivität der Bluetooth-Funktion – dauert. Anhand der Zeitspannen und der Leistungskurven der einzelnen Vorgänge wird die aufgebrauchte Ladung berechnet und von der anfänglichen Batteriekapazität abgezogen. Auf der Grundlage eines gleitenden Durchschnitts des Verbrauchs wird die verbleibende Lebensdauer

—  
05 HALT-Prüfstand.

05a Temperaturwechselprüfung.

05b Detailaufnahme des auf der Platte montierten Sensors.

—  
06 Der im Sensor untergebrachte Batteriehalter.

geschätzt und angegeben. So wird die tatsächliche Batterielebensdauer erfasst, anstatt auf eine vorgegebene Batterielebensdauer und einen angenommenen Verbrauch zurückzugreifen, was häufig ungenau ist.

#### Herausforderung 4: Zukunftssichere Firm- und Software

Die neue Firm- und Software des Smart Sensors verfolgt zwei Ziele: die zukünftige Entwicklung verschiedener Sensortypen zu unterstützen und die Rekonfiguration eines in Betrieb befindlichen Sensors zur Überwachung verschiedener Arten von Betriebsmitteln zu ermöglichen. So könnte z. B. ein bestehender Sensor so rekonfiguriert werden, dass er entweder als Motor- oder Pumpensensor – oder durch Auswahl vordefinierter bzw. individuell zugeschnittener Profile für jedes andere Betriebsmittel – genutzt werden kann. Die Firmware des Sensors lässt sich dank einer flexiblen Softwarearchitektur, die einzelne Komponenten von der Hardware-/Betriebssystemplattform entkoppelt, problemlos an neue Anforderungen anpassen. Diese Komponenten kommunizieren mithilfe einer Publish/Subscribe-Middleware. Insgesamt ist die Firmware als Software-Produktlinie ausgelegt, was sie zukunftssicher macht und die Entwicklung neuer Sensorvarianten auf der Grundlage ein und derselben Plattform ermöglicht.

Die Prüfung dieser verschiedenen Konfigurationen und erweiterten Funktionen erfordert einen automatischen Testvorgang. Hierzu hat ABB eine Continuous Integration Testing Suite in Betrieb genommen, die dafür sorgt, dass die Datenerfassung erwartungsgemäß funktioniert, dass mögliche Fehler, die sich durch Rekonfigurationen oder Änderungen der Firmware eingeschlichen haben, gefunden werden, dass Upgrades der Algorithmen gründlich getestet werden und dass die Firmware die Anforderungen an einen geringen Energieverbrauch erfüllt.

Angesichts des zunehmenden Bewusstseins für Datenschutz hat ABB umfassende Cybersicherheitsmerkmale entwickelt, um den wachsenden Anforderungen der Kunden gerecht zu werden. Dazu gehören ein sicherer Schlüsselaustausch für die Bluetooth-Kommunikation mit Out-of-Band-Pairing, Bluetooth-Verschlüsselung, Nutzerauthentifizierung, rollenbasierte Zugangskontrolle und sichere Firmware-Updates.

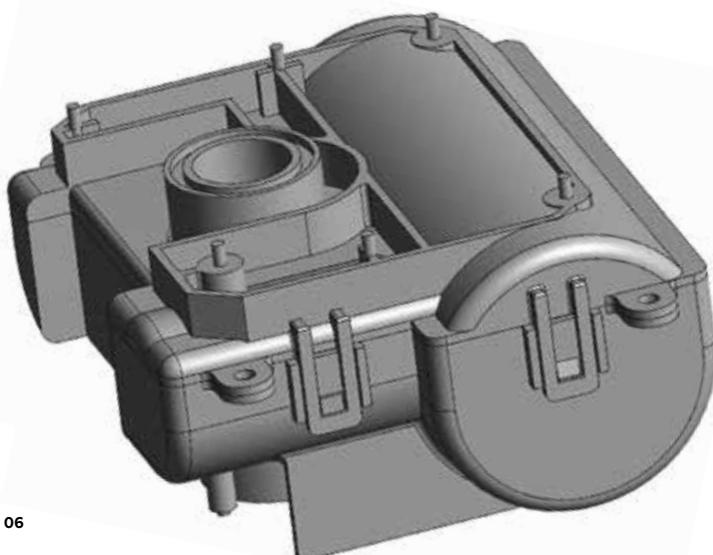
#### Smart in die Zukunft

Der neue Smart Sensor stellt einen technologischen Fortschritt dar, denn er misst Vibrationen mit einer höheren Genauigkeit als alle bisherigen intelligenten Sensoren. Die Zertifizierung für explosionsgefährdete Bereiche (ATEX und IECEx: Zone 0, Zone 20; Class I, Division I und Class 2, Division I) für den extrem

—  
Der neue Sensor misst Vibrationen genauer als alle bisherigen intelligenten Sensoren.

robusten Sensor wurde erteilt. Darüber hinaus profitiert der Sensor von einigen konstruktiven Merkmalen, die die Handhabung deutlich verbessern. Dazu gehören die anwenderfreundliche Inbetriebnahme durch Aktivierung per NFC (Nahfeldkommunikation), ein verbessertes Antennendesign für eine optimale drahtlose Kommunikation und eine verlängerte Batterielebensdauer.

Zusammengefasst zeichnet sich der neue Sensor durch umfangreiche Cybersicherheitsmerkmale, eine flexible Firmware-Plattform, eine optimierte Performance und eine genaue Überwachung des Energieverbrauchs aus. Diese Verbesserungen erhöhen die Wertschöpfung für den Kunden und machen den ABB Ability Smart Sensor für explosionsgefährdete Bereiche zum De-facto-Standard für die Zustandsüberwachung von rotierenden Maschinen. •



---

 BLICKPUNKT KONNEKTIVITÄT

# Netzwerk- forscher erhält Förderpreis



Der renommierte ABB-Forschungspreis zu Ehren von Hubertus von Grünberg wird alle drei Jahre an externe Forscher verliehen. Der aktuelle Preisträger, Ambuj Varshney, wurde für seine fortgesetzte Forschung zur Entwicklung nachhaltiger vernetzter NES-Systeme (Networked Embedded Systems), die eine einfachere Erfassung industrieller Daten ermöglichen, ausgezeichnet.



**Reiner Schönrock**  
ABB Corporate  
Communications  
Zürich, Schweiz

reiner.schoenrock@  
ch.abb.com

Der Träger des ABB-Forschungspreises zu Ehren des ehemaligen Vorsitzenden des Verwaltungsrats von ABB, Dr. Hubertus von Grünberg, wurde von einer hochkarätigen Jury aus über 60 Bewerbungen ausgewählt. Mit einem Preisgeld von 300.000 US-Dollar zur Förderung der laufenden Forschungsarbeit über einen Zeitraum von drei Jahren gehört der Preis zu den am höchsten dotierten Forschungspreisen, die weltweit von einem Unternehmen ausgelobt werden.

Aktueller Preisträger ist der 33-jährige Ambuj Varshney, der im Mai 2018 an der Universität Uppsala (Schweden) in Informatik promoviert hat. Er nahm die Auszeichnung für seine fortgesetzte Forschung zur Entwicklung nachhaltiger NES bei einem Festakt im Schweizerischen Dättwil entgegen.

---

Die Sensoren kommunizieren über Entfernungen von mehreren Kilometern und benötigen nur einige Mikrowatt.

Die Jury lobte Varshneys innovativen Ansatz zur Lösung miteinander verknüpfter Herausforderungen, die die Nachhaltigkeit von NES beeinflussen, wie die Koexistenz im gemeinsamen drahtlosen Spektrum, der Energieverbrauch und die Kosten für die Bereitstellung und Wartung.



01

— 01 Ambuj Varshney nahm bei einem Festakt im ABB-Forschungszentrum in Dättwil (Schweiz) die prestigeträchtige Auszeichnung entgegen.

Im Rahmen seiner Forschungsarbeit entwickelte Varshney ein Kommunikationssystem mit äußerst geringer Leistungsaufnahme und großer Reichweite (LoRea) für batterielose Sensoren, die geringe Energiemengen aus der Umgebung gewinnen. Diese sind nachweislich in der Lage, über Entfernungen von mehreren Kilometern zu kommunizieren, und benötigen nur einige Mikrowatt. Damit könnten Varshneys Forschungen den Weg zur Entwicklung einer batterielosen und nachhaltigen NES-Technologie ebnen. Varshney plant, diesen Ansatz im Rahmen seines preisgekrönten Forschungsprojekts zur Entwicklung nachhaltiger Sensortechnik für die Fabrik der Zukunft weiterzuverfolgen.

In den letzten Jahren hat die Verbreitung von NES-Anwendungen rasant zugenommen. Da die Zahl vernetzter Geräte im Internet der Dinge (IoT) von derzeit geschätzten 50 Milliarden unaufhörlich weiter ansteigt, stellt die Bereitstellung solcher Systeme im großen Maßstab eine bedeutende Herausforderung dar. Nach Auffassung der Jury eignet sich der Ansatz von Varshney, um eine langfristige und nachhaltige Unterstützung von NES ohne negative Beeinflussung der Umwelt oder Funkumgebung zu ermöglichen. So kann seine Forschungsarbeit die Grundlage für die Erfassung großer auswertbarer Datenmengen in verschiedenen Industrien bilden und den Weg für fortschrittliche Datenanalysen ebnen.

—  
Fußnote

1) R. Schönrock: „300.000-Dollar-Forschungspreis – ABB ruft einen Preis ins Leben, um herausragende Forschungen von Postdoktoranden zu ehren und zu unterstützen“. ABB Review 3/2015, S. 60–61.

### Der Preis

Mit dem ABB-Forschungspreis zu Ehren von Hubertus Grünberg wird im Zyklus von drei Jahren eine herausragende Dissertation aus den Bereichen Elektrotechnik, Maschinenbau, Softwareentwicklung, Elektronik, Robotik, künstliche Intelligenz, Prozessautomatisierung oder verwandten Disziplinen ausgezeichnet, deren Forschungsvorhaben für die Versorgungswirtschaft, die Industrie, das Transportwesen oder den Infrastrukturbereich relevant ist<sup>1</sup>.

Neben dem Nutzen für die Gesellschaft und die Umwelt legt die Jury besonderen Wert auf spezifische reale Anwendungen und das Innovationspotenzial der Forschungsarbeit.

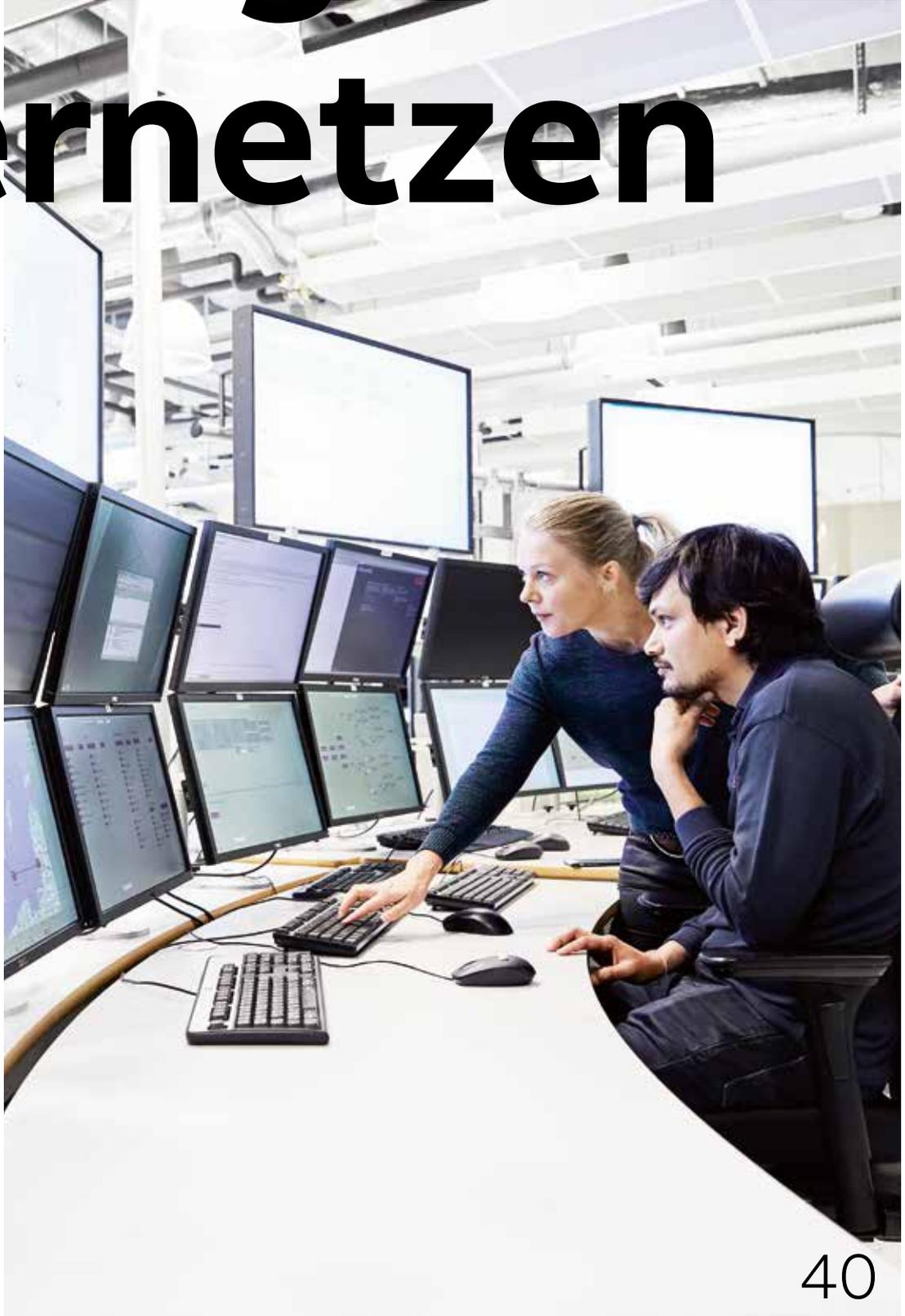
Der Forschungspreis wird zu Ehren von Hubertus von Grünberg ausgelobt, der von 2007 bis 2015 als Vorsitzender des Verwaltungsrats von ABB tätig war. Von Grünberg, der als theoretischer Physiker 1970 seine Dissertation über Einsteins Relativitätstheorie schrieb, war maßgeblich daran beteiligt, ABB auf einen nachhaltigen Wachstumskurs zu führen. Er hat unter anderem dafür gesorgt, dass

—  
Varshneys Forschung kann den Weg für fortschrittliche Datenanalysen in verschiedenen Industrien ebnen.

die Unterstützung der Forschung – sowohl an Hochschulen als auch innerhalb des Unternehmens – zu einem wichtigen Bestandteil der Strategie von ABB geworden ist. Mit F&E-Investitionen von rund 1,2 Milliarden US-Dollar im Jahr und zahlreichen Forschungszentren rund um den Globus gehört ABB zu den innovativsten Unternehmen weltweit, die die digitale Transformation von Industrien vorantreiben.

Die hochkarätige internationale Jury für den Preis setzte sich aus folgenden Mitgliedern zusammen: Dr. Hubertus von Grünberg, Prof. Nina Thornhill (Imperial College London), Prof. M. Granger Morgan (Carnegie Mellon University Pittsburgh), Prof. Roland Siegwart (ETH Zürich), Prof. C. L. Philip Chen (Universität von Macau) und Bazmi Husain, Chief Technology Officer von ABB. •

# Energie vernetzen



**Energieeinheiten mit Daten gleichzusetzen, die erfasst, gespeichert, verteilt und auf vielfältige Weise genutzt werden können, ist ein faszinierender Gedanke. Dies ermöglicht nicht nur die Steigerung der Flexibilität und Produktivität einzelner Geräte und Systeme bis hin zu ganzen Anlagen und Stromnetzen, sondern fördert auch die Nachhaltigkeit.**

- 32      Automatischer Netzumschalter  
         Zenith
- 36      Schnelle und einfache Konfiguration  
         für Universelle Motor Controller
- 40      PEGS – leistungselektronischer  
         Netzsimulator zur Prüfung von  
         Mittelspannungsanlagen





ENERGIE VERNETZEN

# Automatischer Netzumschalter Zenith

Der automatische Netzumschalter (ATS) Zenith kombiniert das Beste der ATS-Technologien von ABB und GE in einem einzigen, benutzerfreundlichen Gerät, das alle notwendigen Sensoren, Steuerungen, Schalter und Bedienoberflächen bereitstellt.



**William T. Lindstrom**  
ABB Electrification,  
Smart Power  
Mephis, TN, USA

[william.t.lindstrom@us.abb.com](mailto:william.t.lindstrom@us.abb.com)

Seit der Übernahme von GE Industrial Solutions, dem globalen Geschäft für Elektrifizierungslösungen von GE, Mitte 2018 arbeitet ABB daran, Produkte von GE in die Palette von ABB-Lösungen zu integrieren. Ein Beispiel hierfür sind die automatische Netzumschalter (Automatic Transfer Switch, ATS) der Reihen Zenith ZTX und ZTG von GE, die mit der bahnbrechenden TruONE™-Technologie von ABB zu einem ATS kombiniert wurden, der sich durch eine verbesserte Systemzuverlässigkeit, Konnektivität und Benutzerfreundlichkeit auszeichnet. Die neue ATS-Reihe ist für Ströme von 30 bis 1.200 A und Spannungen von 200 bis 480 V AC ausgelegt.

## Die ABB TruONE ATS-Technologie

Wird ein Reservegenerator in einer kritischen Anwendung wie einem Rechenzentrum, einer medizinischen Einrichtung oder Verkehrsinfrastruktur als alternative Stromquelle verwendet, startet ein ATS bei Ausfall des Netzes den Generator und schaltet die Last auf die Notstromversorgung um (und bei Wiederkehr des Netzes zurück auf die Netzversorgung).

Für Schaltanlagenbauer kann die Installation eines traditionellen ATS eine komplexe Aufgabe sein, bei der es gilt, verschiedene Sensoren, Steuerungen,

—  
Die TruONE-Technologie erleichtert die Installation, da lediglich ein einziges Kabel angeschlossen werden muss.

Schalter und Bedienoberflächen zu konfigurieren und zu verdrahten. Die ABB TruONE ATS-Technologie erleichtert dies, da lediglich ein einziges Kabel angeschlossen werden muss und Standardgehäuse verwendet werden.

TruONE ist die erste Lösung dieser Art, die alle notwendigen Sensoren, Steuerungen, Schalter und

—  
 Titelbild: Die nächste ATS-Generation von ABB verbindet die besten Technologien von ABB und GE Industrial Solutions zur Verbesserung der Systemzuverlässigkeit, Konnektivität und Benutzerfreundlichkeit.

—  
 01 Der ABB TruONE, eine der Hauptkomponenten des Zenith ATS.

—  
 02 Die Architektur des TruONE zeichnet sich durch ihre Einfachheit aus.

02a Traditionelle ATS-Installationen müssen häufig manuell konfiguriert werden, was zeitaufwändig und fehleranfällig ist.

02b Der TruONE vereint den Großteil der erforderlichen ATS-Funktionalität in einem Gerät, was die Installation vereinfacht und beschleunigt und die Zuverlässigkeit erhöht.

Bedienoberflächen in einem einzigen, leicht zu installierenden Gerät integriert, das zur Verbesserung des Schutzes beiträgt und die Installation einfacher, zuverlässiger und um 80 % schneller gestaltet →01–02. Die modulare Bauweise sorgt zudem für eine Reduzierung der Ausfallzeiten und Wartungskosten.

**Die Zenith-Baureihen ZTG und ZTX**

Die ATS der Baureihen Zenith ZTG und ZTX verbinden die TruONE-Technologie von ABB mit der bewährten Zenith ATS-Familie von GE, die für ihre Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit bekannt ist. Damit kombiniert

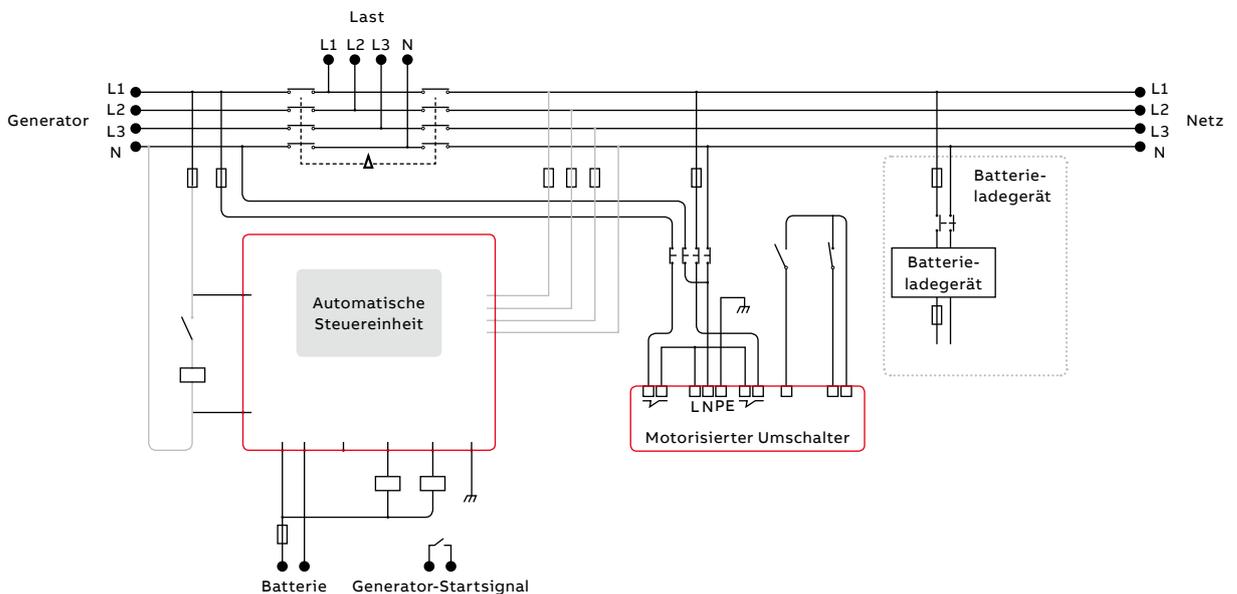


01

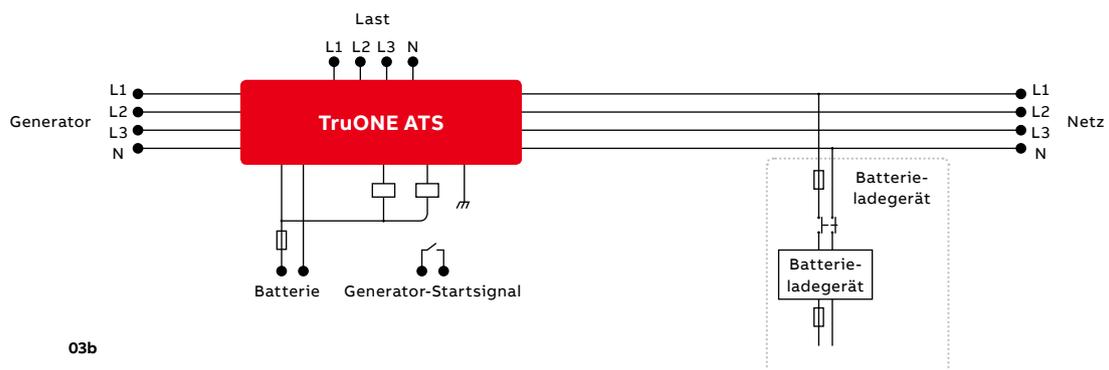
**Der Zenith ATS kombiniert den Schalter und die Steuerung in einer in sich geschlossenen Einheit.**

der Zenith ATS den Schalter und die Steuerung in einer nahtlosen, in sich geschlossenen Einheit →03–04. Dies reduziert die Anzahl der Kabel und Verbindungen, lässt

bis zu 25 % mehr Raum für die Kabelführung und minimiert die Gefahr falscher Anschlüsse. Darüber hinaus zeichnet sich das Design durch intelligente modulare Komponenten aus, die dabei helfen, Ausfallzeiten und Wartungskosten zu reduzieren, indem sie den Austausch der Steuerung und des Antriebs in weniger als 10 Minuten erlauben.



03a



03b

Auch in puncto Arbeitssicherheit setzen die Zenith ATS neue Maßstäbe, da die abnehmbare Bedienoberfläche (Human-Machine-Interface, HMI) vollständig elektrisch isoliert ist und keine potenziell gefährlichen Netzspannungen mehr mit der Schranktür verbunden werden müssen →05. Alle relevanten Prüfanforderungen gemäß IEC und UL werden vom Zenith erfüllt bzw. übertroffen.

Die HMI mit Flüssigkristallanzeige (LCD) ist passwortgeschützt und bietet Zugang zu verschiedenen Funktionen wie programmierbaren Sollwerten, Verzögerungszeiten und digitalen E/As. Außerdem können der Schaltzustand, Ereignisse und Diagnoseinformationen abgerufen werden. Bei allen Modellen

**Eine der bedeutendsten Innovationen ist die Selbstversorgung über die Netzanschlüsse ohne die Notwendigkeit externer Spannungswandler.**

kann alternativ zur HMI die ABB-eigene Ekip Connect Software zur Programmierung vor Ort oder aus der Ferne genutzt werden. Mithilfe dieses Tools können ATS-Einstellungen über den USB-Anschluss an der HMI importiert, exportiert oder verändert werden, ohne

dass das Gerät unter Spannung gesetzt werden muss. Sind mehrere ATS miteinander vernetzt, kann via Ekip Connect auf alle Steuerungen zugegriffen werden, was die Inbetriebnahme und den Datenzugriff erheblich vereinfacht.

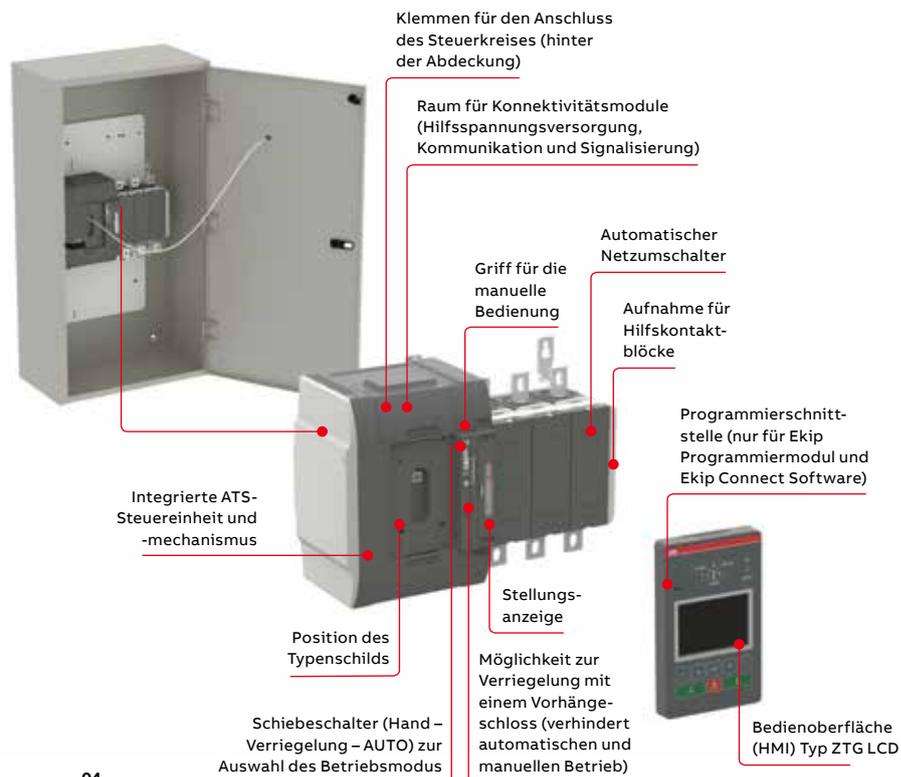
Eine der bedeutendsten Innovationen im Design des ATS ist die Selbstversorgung aller erforderlichen Funktionalitäten über die Netzanschlüsse (200 bis 480 V AC, ± 20 %), ohne dass dafür externe Spannungswandler erforderlich sind.

Die Zenith ATS-Lösungen sind für eine Lebensdauer von bis zu 6.000 Schaltspielen ausgelegt, was bei 10 Umschaltungen im Monat einem zuverlässigen Betrieb von etwa 50 Jahren entspricht. Zur Vereinfachung der Wartung und deutlichen Reduzierung der Ausfallzeiten und Wartungskosten können alle wichtigen Module vom Kunden selbst ausgetauscht werden.

Zu den weiteren fortschrittlichen Merkmalen des neuen Schalters gehört eine raffinierte Kontaktkonstruktion auf der Basis neuer Werkstoffe und Geometrien, die eine noch zuverlässigere Lastumschaltung ermöglicht.

**Flexibilität durch Snap-on-Zubehör**

Der Zenith kann jederzeit durch Snap-on-Zubehör (z. B. zusätzliche E/As, Kommunikationsmodule und Klemmenabdeckungen) ergänzt werden. Das Zubehör liegt innerhalb der Abmessungen des Schalters und lässt sich ohne Werkzeug montieren.





04

03 Der Zenith ATS.

04 Die Zenith ATS-Familie. Die Baureihe ZTG ist für gewerbliche und industrielle Anwendungen, die Reihe ZTX für Wohnhäuser und kleinere gewerbliche Anwendungen vorgesehen.

05 Die HMI des Zenith.

05a Die HMI wird mit einem Ethernet-Kabel angeschlossen, d. h. sie ist leicht austauschbar, und im Extremfall kann der ATS auch ohne HMI arbeiten.

05b Die HMI wird mit zwei Schrauben an der Tür befestigt. Der Anschluss wird durch ein Loch geführt und mit einer Mutter gesichert. Ein RJ45-Kabel verbindet die HMI mit der TruONE-Einheit.

Werden zusätzlich zu den standardmäßig enthaltenen digitalen E/As mechanische Hilfskontakte (Stellungsanzeige) benötigt, können diese ebenfalls in jeder Implementierungsphase der ATS-Lösung ohne Werkzeug aufgesteckt werden. Das Gleiche gilt für das Hinzufügen verschiedener Kommunikationsprotokolle (bis zu sieben, siehe unten), zusätzlicher E/As oder einer 24-V-DC-Hilfsspannungsversorgung für die HMI.

#### Optimale Anbindung

Eine optimierte Schnittstelle erleichtert erweiterte Steuerungs-, Konnektivitäts- und Energiemanagementaufgaben. Dank integrierter Konnektivität, einer automatischen Konfigurationsfunktion und verschiedenen Programmierungsoptionen dauert die Einrichtung mit dem Zenith ZTX und ZTG nur wenige Minuten – im Vergleich zu der stundenlangen, nicht selten frustrierenden Arbeit, die bei traditionellen ATS häufig erforderlich ist. Da keinerlei Verdrahtung, Kalibrierung oder Fehlerbehebung erforderlich ist, stellen die neuen ATS vom Typ ZTX und ZTG einen bedeutenden Fortschritt in puncto Funktionalität, Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit dar.

Sieben Kommunikationsprotokolle sorgen für eine umfassende Konnektivität der Zenith ATS, die zum Portfolio der ABB Ability™-Lösungen zur Steigerung der Kundenproduktivität gehören. Der Zenith verfügt über integrierte Funktionalitäten für die Zustandsüberwachung und vorausschauende Wartung, die dafür sorgen, dass das Gerät verfügbar ist, wenn es benötigt wird.

Um die Systemintegration weiter zu erleichtern, verfügen einige Zenith-Modelle über die gleiche Bedienoberfläche und Softwareumgebung wie der intelligente offene Leistungsschalter Emax 2 von ABB.

Dies ermöglicht eine direkte Kommunikation mit der cloudbasierten Energiemanagement-Plattform ABB Ability Electrical Distribution Control System (EDCS). Durch die Verknüpfung mit ABB Ability EDCS wird

Der Zenith eignet sich ideal für die Umrüstung älterer ATS-Installationen.

die Kompatibilität des ATS mit anderen ABB-Geräten gewährleistet. Der Zenith ZTG kann mithilfe eines Laptops und der Ekip Connect Software sogar vor der Installation vor Ort konfiguriert werden, ohne dass eine externe Stromversorgung erforderlich ist.

Der Zenith eignet sich ideal für die Umrüstung älterer ATS-Installationen. Das kompakte, leichte (ca. 30 % leichter als vergleichbare ATS) und in sich geschlossene Design sowie die Tatsache, dass nur eine einzige Steuerkabelverbindung – das Ethernet-Kabel vom Schalter zur HMI bei Türmontage – benötigt wird, gewährleisten einen einfachen und schnellen Austausch.

Angesichts der sich schnell verändernden Versorgungslandschaft steigen auch der Bedarf und die Anforderungen an ATS-Systeme. Die ATS-Modelle Zenith ZTX und ZTG von ABB ermöglichen eine einfachere und schnellere Installation und helfen Nutzern von ATS dabei, die Zuverlässigkeit ihrer Systeme zu erhöhen, Kosten zu senken und die Versorgungssicherheit zu verbessern. •



05a



05b

#### Literaturhinweis

[1] R. Peltari: „Kompakt integriert: der TueONE™ ATS“. ABB Review 2/2018, S. 90–93

## ENERGIE VERNETZEN

# Schnelle und einfache Konfiguration für Universelle Motor Controller

Viele industrielle Elektromotoren werden von intelligenten Controllern wie dem UMC100.3 von ABB gesteuert, der Motorschutz und -steuerung, Kommunikation und Fehlerdiagnose miteinander verbindet. Eine auf der FDI-Technologie (Field Device Integration) basierende Software von ABB ermöglicht eine schnelle und einfache Konfiguration des UMC100.3.



**Helmut Schönfelder**  
ABB Stotz-Kontakt  
Heidelberg, Deutschland

helmut.schoenfelder@  
de.abb.com

Elektromotoren und die dazugehörigen Lasten sind in der Industrie allgegenwärtig, und ihre Zahl steigt mit fortschreitender Automatisierung kontinuierlich an. Viele dieser Motoren treiben kritische Prozesse an, bei denen eine Abschaltung nicht hingenommen werden kann. Dies ist z. B. in der Öl- und Gasindustrie, dem Bergbau und der Papierindustrie der Fall, wo komplette Produktionslinien neu angefahren werden müssen, um die Sicherheit bzw. eine zuverlässige Produktion zu gewährleisten. In anderen, weniger kritischen Anwendungen stellen Motorprobleme im besten Fall lästige Störungen dar, die Produktionseinbußen und Kosten nach sich ziehen können.

## Der Universelle Motor Controller UMC100.3

Um einen reibungslosen Ablauf industrieller Prozesse zu gewährleisten, werden üblicherweise Motormanagementsysteme wie der Universelle Motor Controller UMC100.3 von ABB eingesetzt [1].



01

Der UMC100.3 deckt sämtliche Anforderungen in puncto Motorschutz und Steuerung, Kommunikation und Fehlerdiagnose ab.

Der UMC100.3 ist ein intelligenter Daten-Hub, der sämtliche Anforderungen in puncto Motorschutz und -steuerung, Kommunikation und Fehlerdiagnose abdeckt →01. Dabei unterstützt er mehr Kommunikationsprotokolle als andere vergleichbare Produkte. So stehen Feldbus-Schnittstellen für Profibus DP, DeviceNet und Modbus RTU sowie Ethernet-Schnittstellen für EtherNet/IP™, Modbus TCP und Profinet IO zur Verfügung.

Die Kommunikationsmodule von ABB können entweder direkt am UMC100.3 oder getrennt im Kabelraum eines Motor Control Centers (MCC) montiert werden. Diese einzigartige Lösung macht die Kommunikationsverdrahtung wesentlich einfacher und robust gegenüber Störungen, insbesondere in MCCs mit Einschubmodulen. Zudem reduziert das System die Komplexität der Verdrahtung in Ethernet-basierten Netzwerken.

Darüber hinaus trägt die serielle Kommunikation des UMC100.3 zur Reduzierung des Verdrahtungs- und Installationsaufwands bei und liefert wesentlich mehr Daten als vergleichbare Geräte. Dieser umfassende Zugang zu Daten ermöglicht eine



02

—  
01 Der Universelle Motor Controller UMC100.3 von ABB.

—  
02 Der UMC100.3 von ABB bietet Motorschutz und -steuerung, Feldbus- und Ethernet-Kommunikation sowie Fehlerdiagnosen für eine Vielzahl von Anwendungen wie der hier gezeigten Öl- und Gasanlage.

—  
03 Bediengerät für den UMC100.3.

fortschrittliche vorausschauende Wartung, die die Zuverlässigkeit des Motors und somit die Verfügbarkeit des Prozesses verbessert →02.

Für eine erweiterte Funktionalität kann der UMC100.3 problemlos durch verschiedene Erweiterungsmodule ergänzt werden. Diese stellen z. B. analoge Temperaturerfassung,

—  
**Der umfassende Zugang zu Daten ermöglicht eine fortschrittliche vorausschauende Wartung.**

zusätzliche digitale Ein- und Ausgänge oder Funktionen zur Bestimmung von Phasenspannungen, Leistungsfaktor, Wirkleistung, Scheinleistung, Energie und harmonische Gesamtverzerrung bereit →03–04.

Mit der neuen Konfigurationssoftware von ABB wird das Einrichten und Parametrisieren des UMC100.3 nun noch einfacher.

**Konfigurationssoftware ABB FIM UMC Edition**  
In Automatisierungssystemen für die Prozessindustrie müssen Feldgeräte von vielen verschiedenen Herstellern zusammenarbeiten. Da eine Kombination dieser Geräte in der Vergangenheit

stets mit Schwierigkeiten verbunden war, wurden Anstrengungen zur Entwicklung einer offenen und standardisierten Geräteintegration unternommen. In den letzten Jahren hat die FDI (Field Device Integration) Cooperation eine Standardarchitektur für die Geräteintegration auf Basis der IEC 61804 spezifiziert, die die Vorteile der EDDL (Electronic Device Description Language) und der FDT/DTM-Technologie (Field Device Tool/Device Type Manager) verbindet [2,3].

Auf dieser FDI-Technologie basiert auch die neue Konfigurationssoftware ABB FIM UMC Edition. FIM UMC Edition bietet alle notwendigen Funktionalitäten für eine effektive Nutzung des UMC100.3.



03

So ermöglichen die Parametrisierungs-, Betriebs- und Überwachungsmodi z. B. eine schnelle und einfache Konfiguration, Prüfung und Online-Diagnose →05a-d. Alle relevanten Daten des UMC100.3 wie Betriebszustand, Strom und Spannung können auf einfache Weise überwacht werden. Eine standardmäßig enthaltene umfangreiche Diagnose von Fehlern und Warnungen macht die Kombination

aus UMC100.3 und FIM UMC Edition zu einer idealen Plattform für vorausschauende Anwendungen, die sich mit minimalem Aufwand realisieren lassen. Integrierte Projektmanagement-Funktionen

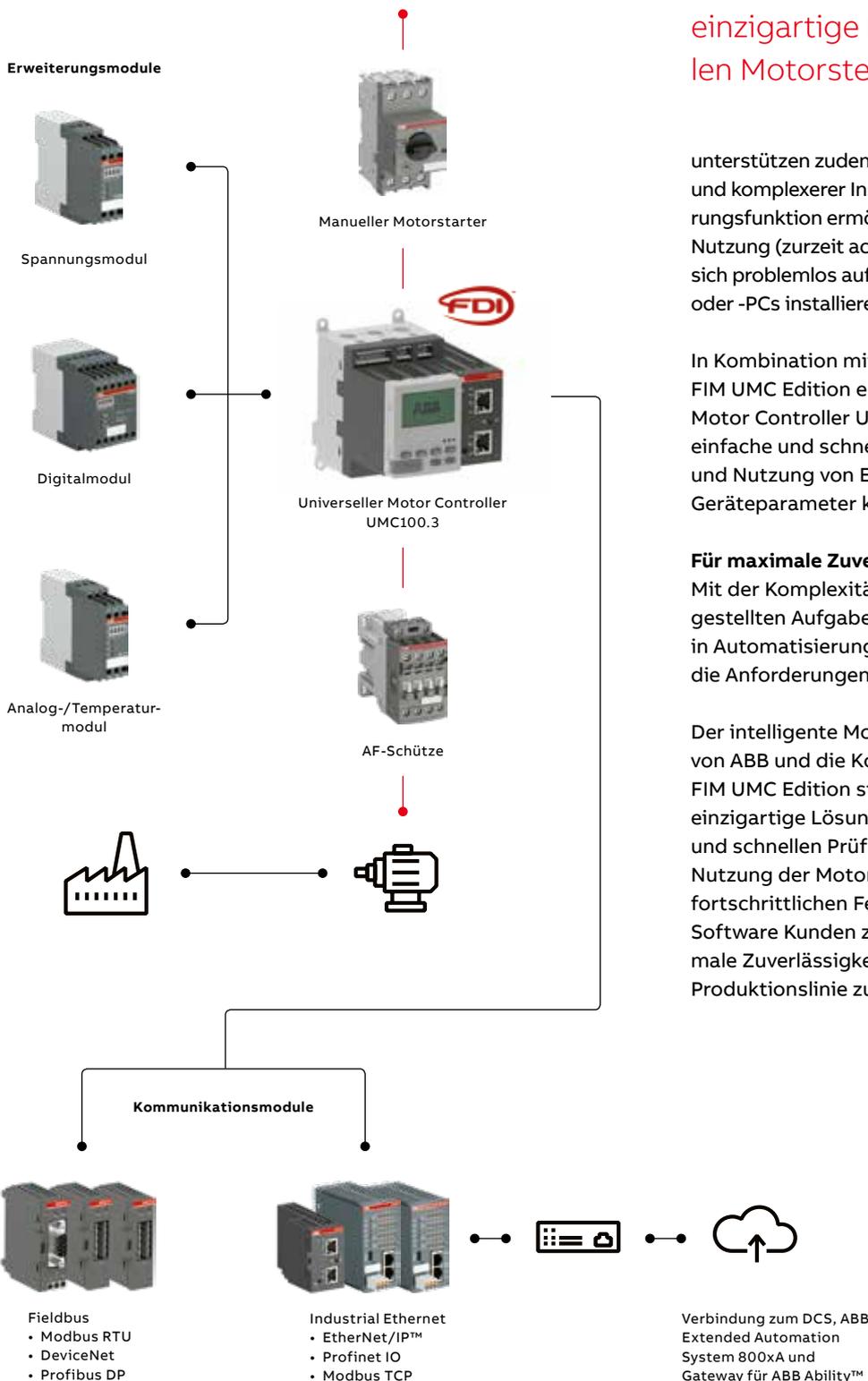
—  
**Controller und Software stellen zusammen eine einzigartige Lösung zur flexiblen Motorsteuerung dar.**

unterstützen zudem die Implementierung größerer und komplexerer Installationen, und die Lokalisierungsfunktion ermöglicht eine mehrsprachige Nutzung (zurzeit acht Sprachen). Die Software lässt sich problemlos auf Windows-Tablets, -Laptops oder -PCs installieren, nutzen und warten.

In Kombination mit der Konfigurationssoftware FIM UMC Edition ermöglicht der intelligente Motor Controller UMC100.3 von ABB Nutzern eine einfache und schnelle Konfiguration, Prüfung und Nutzung von Elektromotoren. Alle relevanten Geräteparameter können angezeigt werden.

**Für maximale Zuverlässigkeit konfiguriert**  
 Mit der Komplexität der an Elektromotoren gestellten Aufgaben und der Anzahl von Motoren in Automatisierungsanwendungen steigen auch die Anforderungen an die Controller →06.

Der intelligente Motor Controller UMC100.3 von ABB und die Konfigurationssoftware FIM UMC Edition stellen zusammen eine einzigartige Lösung zur flexiblen, einfachen und schnellen Prüfung, Inbetriebnahme und Nutzung der Motorsteuerung dar. Mit ihrer fortschrittlichen Fehlerdiagnose hilft die Software Kunden zudem dabei, eine maximale Zuverlässigkeit ihres Prozess bzw. ihrer Produktionslinie zu gewährleisten. ●



—  
04 Beispielkonfiguration des Universellen Motor Controllers UMC100.3 mit einigen Erweiterungsmodulen.

—  
05 Die Parametrisierungs-, Betriebs- und Überwachungsmodi von FIM UMC Edition ermöglichen eine schnelle und einfache Konfiguration, Prüfung und Online-Diagnose.



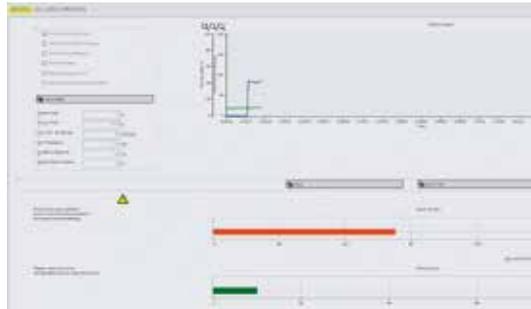
05a

05a Parametrisierung: Verschiedene Menüs zur Konfiguration relevanter Funktionen für Motormanagement, -schutz usw. stehen zur Verfügung.



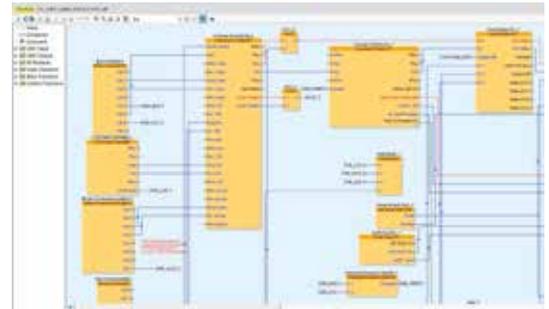
05b

05b Überwachungsmodus mit Darstellung aller relevanten Motorinformationen.



05c

05c Betriebsmodus mit den wichtigsten Motor-daten. Konfigurierbarer Motorstart/-stopp und Fehlrücksetzung sind zu Testzwecken bei der Inbetriebnahme von einem PC aus möglich.



05d

05d Im Custom Application Editor der Software können Startervorlagen (hier für einen Direktstarter) importiert und modifiziert werden. Die modifizierte Logik kann im Online-Modus heruntergeladen und getestet werden.

—  
06 Die Konfigurationssoftware FIM UMC Edition und der intelligente Motor Controller UMC100.3 vereinfachen die Einrichtung und den Betrieb komplexer Elektromotorkonfigurationen. In Anlagen wie dieser Kupfermine in Collahuasi (Chile) kommt eine Vielzahl von Motoren auf einem großflächigen Areal zum Einsatz. Hier ist eine hohe Zuverlässigkeit gefragt, um Produktionsunterbrechungen zu vermeiden.



06

#### Literaturhinweise

[1] P. Müller et al.: „Intelligente Motorsteuerung: Der UMC100 als hervorragendes Beispiel für einen flexiblen, modularen und skalierbaren Motor Controller“. ABB Technik 4/2010, S. 27–31.

[2] International Electrotechnical Commission: „IEC 61804-2:2018 Function blocks (FB) for process control and electronic device description language (EDDL) – Part 2: Specification of FB concept“.

[3] A. Gogolev: „OPC UA und TSN: Industrie 4.0 für Endgeräte“. ABB Review 1/2020, S. 30–35.

## ENERGIE VERNETZEN

# PEGS – leistungs- elektronischer Netzsimulator zur Prüfung von Mittel- spannungsanlagen



**Milosz Miskiewicz**  
**Glib Chekavskyy**  
**Piotr Sobanski**  
**Grzegorz Bujak**  
**Marcin Szlosek**  
ABB Corporate  
Research Center  
Krakau, Polen

milosz.miskiewicz@  
pl.abb.com  
glib.chekavskyy@  
pl.abb.com  
grzegorz.bujak@  
pl.abb.com  
piotr.sobanski@  
pl.abb.com  
marcin.szlosek@  
pl.abb.com

**Nikolaos Oikonomou**  
**Marc Halbeis**  
**Kai Pietilainen**  
**John Eckerle**  
**Jess Galang**  
**Wim van der Merwe**  
ABB System Drives  
Turgi, Schweiz

nikolaos.oikonomou@  
ch.abb.com  
marc.halbeis@  
ch.abb.com  
kai.pietilainen@  
ch.abb.com  
john.eckerle@  
ch.abb.com  
jess.galang@ch.abb.com  
wim.van-der-merwe@  
ch.abb.com

**Vahan Gevorgian**  
NREL  
Golden, CO, USA

**Torben Jersch**  
IWES  
Bremerhaven,  
Deutschland

Mithilfe von PEGS können Prüf- und Forschungseinrichtungen sowohl fehlerfreie als auch fehlerhafte Betriebszustände von Mittelspannungsnetzen emulieren, und Endkunden können die Grid-Code-Compliance ihrer Anlagen prüfen.

Mit dem fortschreitenden Wandel im Energiesektor wird eine immer größere Zahl von schwankenden und dezentralen Energiequellen in die Stromnetze integriert. Erneuerbare Energiequellen sind zwar wünschenswert, da sie die bei der Stromerzeugung freigesetzten CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren, doch ihre Integration in das Stromnetz kann die Netzbetreiber vor große Herausforderungen stellen. Um die steigenden Anforderungen zu erfüllen, werden heutige Stromnetze immer komplexer. So müssen sie nicht nur ständig steigende Kapazitäten und eine zunehmende Vielfalt an installierten Anlagen bewältigen, sondern gleichzeitig auch einen sicheren und zuverlässigen Betrieb gewährleisten.

Um einen zuverlässigen und stabilen Betrieb aller Netzkomponenten sicherzustellen, haben Gesetzgeber genaue Vorschriften festgelegt, die in sogenannten

Der Anteil erneuerbarer Energiequellen im modernen Netz erfordert neue Maßnahmen zur Sicherung der Netzstabilität.

Netzanschlussregeln (Grid Codes) formuliert sind. Die Einhaltung dieser Vorschriften ist jedoch nicht einfach, da Erzeugung und Verbrauch stets ausgeglichen sein müssen, ohne die Netzqualität zu beeinträchtigen – eine mühsame Aufgabe.

Der Anteil erneuerbarer Energiequellen ohne mechanisch-elektrische Trägheit im modernen Netz erfordert neue Maßnahmen zur Sicherung der Gesamtnetzstabilität.



— 01 Spezifikationsmerkmale von PEGS. PowerLink ist eine ABB-eigene Kommunikationsschnittstelle.

Daraus resultieren genaue Richtlinien, die das zulässige Verhalten von Erzeugungsanlagen bei außergewöhnlichen Netzereignissen wie Spannungsänderungen, Frequenzschwankungen oder Fehlern wie Kurzschlüssen definieren.

Diese Netzanschlussbedingungen müssen von allen Erzeugungsanlagen – auch von Anlagen mit schwankendem Energiedargebot wie Photovoltaikanlagen und Windparks – erfüllt werden, was die Komplexität der Aufgabe erhöht. Aufgrund der unterschiedlichen vorhandenen Strukturen innerhalb des Stromnetzes und des unterschiedlichen Erzeugungsmix variieren auch die gültigen Grid Codes von Land zu Land zum Teil erheblich.

— **PEGS kann von Prüf- und Forschungseinrichtungen auf dem Stromnetzmarkt für die Zertifizierung genutzt werden.**

Bevor eine erneuerbare Energiequelle, z. B. eine Windturbine, mit dem öffentlichen Netz verbunden werden kann, muss sie nach dem gültigen (möglicherweise lokalen) Grid Code zertifiziert werden – ein

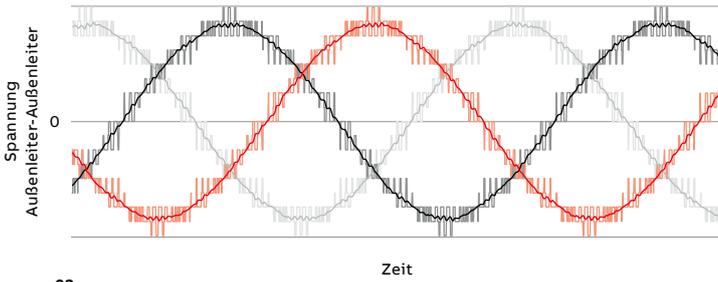
Parameter	Wert
Nennspannung des Netzes	bis zu 46 kV (AI – AI)
Max. Dauerleistung	bis zu 20 MVA
Frequenz des emulierten Netzes	0 – 400 Hz
Spannungsbetriebsbereich	0 – 120 %
Gesamtreaktionszeit der Regelung (o. Kommunikationsverzögerung)	<250 µs
Unterstützte Kommunikationsschnittstellen zur übergeordneten Regelung (Abtastzeit)	EtherCAT (obligatorisch) (1 ms), analog (25 µs), PowerLink (25 µs)

01

kostspieliger und langwieriger Prozess, der die Durchführung von komplexen, anspruchsvollen Prüfungen erfordert. Vor diesem Hintergrund hat ABB den leistungselektronischen Netzsimulator PEGS (Power Electronic Grid Simulator) entwickelt, der von Prüf- und Forschungseinrichtungen auf dem Stromnetzmarkt genutzt werden kann. Das System, das sowohl fehlerfreie als auch fehlerhafte Betriebszustände von Mittelspannungsnetzen emuliert, kann von Endkunden in Prüfeinrichtungen genutzt werden, um die Grid-Code-Compliance ihrer Anlagen zu überprüfen →01.

#### Hoher Leistungsbedarf

Neben der Erfüllung der Anforderungen für die Grid-Code-Zertifizierung müssen die Prüfungs-



02

gen wiederholbar und granular sein und eine Untersuchung des Anlagenverhaltens an den Betriebsgrenzen ermöglichen.

Bisher wurden verschiedene Verfahren zur Untersuchung der Betriebsgrenzen genutzt. So wurden Kurzschlussereignisse etwa durch Zuschalten von

—  
**PEGS emuliert sowohl fehlerfreie als auch fehlerhafte Betriebszustände von Mittelspannungsnetzen.**

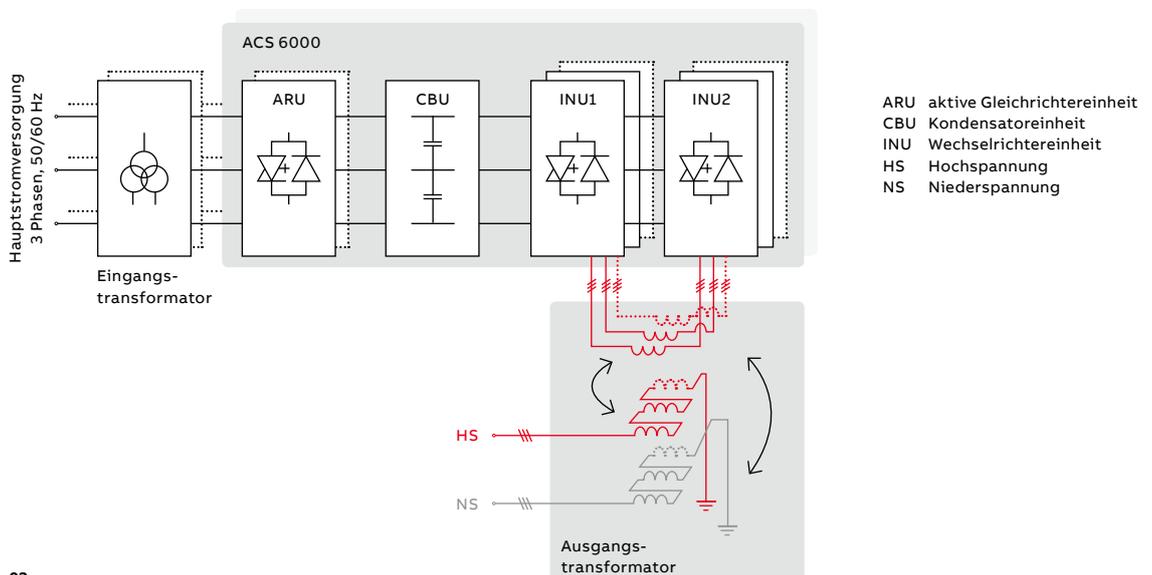
Drosselspulen zum Netz simuliert. Dies hat jedoch aufgrund der Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften der Drossel und den Ein- und Ausschaltzeiten der elektrischen Schalteinrichtungen Nachteile in puncto Wiederholbarkeit und Granularität.

Ein Ansatz, der zunehmend Anwendung findet, ist die Einrichtung eines künstlichen Netzes mithilfe von Leistungselektronischen Umrichtern. Durch entsprechende Steuerung dieses Netzes lassen sich dann Frequenz- und Spannungsänderungen simulieren. Bei sorgfältiger Auslegung des Umrichters und des dazugehörigen Systems können sogar asymmetrische Netzzustände emuliert werden. Hierbei kommen für gewöhnlich viele kleinere Umrichter mit schnell schaltenden Halbleitern in Parallelschaltung zum Einsatz, mit denen die Leistung auf das zur Simulation eines Ereignisses erforderliche Niveau eingestellt werden kann.

Nichtsdestotrotz erfordert die Emulation eines kritischen Kurzschlussereignisses aufgrund der damit verbundenen hohen Ströme erhebliche Anstrengungen. Bei niedrigen Leistungen kann der leistungselektronische Umrichter überdimensioniert werden, um die Ströme zu bewältigen, ohne die Halbleiter oder das Umrichtersystem zu beschädigen. Heutzutage sind die Leistungen großer Windturbinen – insbesondere solcher für den Offshore-Einsatz – so hoch, dass die Erstellung eines künstlichen Netzes mit vielen parallelen Niederspannungs-Umrichtern kaum machbar ist. Die neue Generation von Offshore-Windturbinen wie die Haliade-X von General Electric veranschaulicht dies. Bei einer Nennleistung von 12 MW wäre es ungeheuer schwierig, Kurzschlussereignisse mit Strömen um die 2 pu zu emulieren.

**PEGS – Design und Anwendung**

Hier kommt der ABB ACS6000 Netzsimulator PEGS ins Spiel. PEGS basiert auf bewährter Technologie und ist für die hohen Leistungen heutiger Erzeugungsanlagen – z. B. von Windparks – ausgelegt. Durch die Verwendung



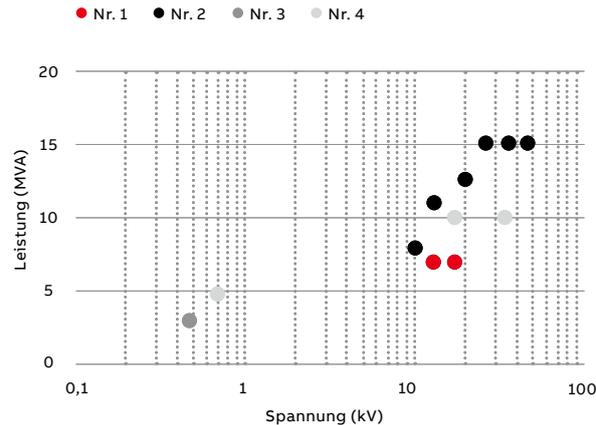
03

— 02 PEGS dämpft Oberschwingungen höherer Ordnung, wie an der Form der gefilterten Spannung zu sehen ist.

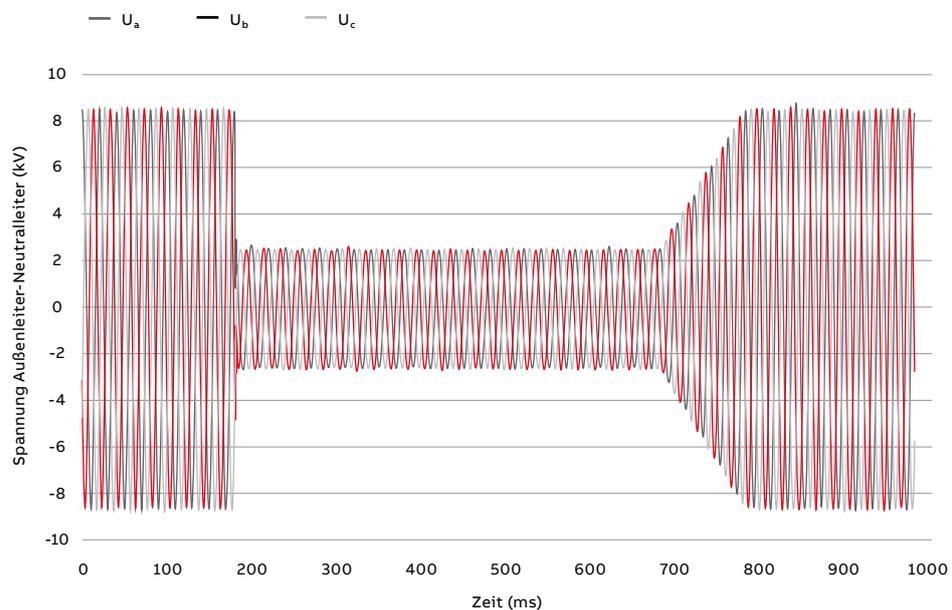
— 03 Darstellung des modularen Designs des leistungselektronischen Umrichters.

— 04 Kenndaten bestehender Installationen.

— 05 PEGS ermöglicht die Durchführung wichtiger LVRT-Prüfungen (Low-Voltage Ride Through) zur dynamischen Netzstabilisierung.



04



05

## Die neue Lösung zur Prüfung moderner Windturbinen nutzt die flexible, modulare Struktur des ACS6000.

von Mittelspannungs-IGCTs (Integrated Gate-Commutated Thyristors) wird die Anzahl der erforderlichen parallelgeschalteten Halbleiter und Umrichtersysteme minimiert, was die Zuverlässigkeit des Systems erhöht und die Komplexität reduziert.

Bei den für moderne Windturbinen benötigten Leistungen ist die verfügbare Schaltfrequenz der Halbleiter erheblich niedriger als bei Umrichtern für niedrigere Spannungen. Die neue Lösung von ABB zur Prüfung moderner Windturbinen nutzt die flexible,

modulare Struktur des ACS6000. Der Leistungsumrichter besteht aus einem aktiven Gleichrichter, einem Gleichspannungs-(DC-)Zwischenkreis und dreiphasigen Mehrstufen-Wechselrichtern in NPC-Ausführung (Neutral Point Clamped) mit einem speziellen Ausgangstransformator, der eine Erhöhung der Ausgangsspannung ermöglicht. Bei dem Umrichter von ABB können mehrere Wechselrichtereinheiten am selben DC-Zwischenkreis angeschlossen werden.

Darüber hinaus verfügt PEGS über einen passiven Filter, der ein hohes Maß an Spannungsqualität gewährleistet →02. Das System zeichnet sich nicht nur durch eine äußerst präzise Spannungsmodulation, sondern auch durch eine überaus geringe harmonische Gesamtverzerrung der Spannung (THDv) – ein Maß für die Spannungsqualität – aus. Der Umrichter ist in der Lage, ein Netz mit Kurzschlussleistungen von über 40 MVA bei einer THDv von unter 1 % zu emulieren – eine beachtliche Leistung.

Dank des modularen Umrichterdesigns bietet PEGS nahezu unbegrenzte Konfigurationsmöglichkeiten und eine flexible Steuerung →03. Der praxiserprobte ABB-Standardcontroller für Mittelspannungsanwendungen, der für die Initialisierung und den Schutz des Systems verantwortlich ist, sorgt für eine hohe Zuverlässigkeit des PEGS-Betriebs. Um außerdem einen sicheren Betrieb des Umrichters zu gewährleisten, werden PEGS-spezifische Funktionen über einen eigenen Controller erst aktiviert, wenn alle Schutzbedingungen erfüllt sind, d. h. die Initialisierungsvorgänge abgeschlossen sind.

Neue Industrieprotokolle ermöglichen es dem Nutzer, die PEGS-Ausgangsspannung entsprechend den individuellen Anforderungen des Kunden zu modulieren und zu steuern. Darüber hinaus kann PEGS als Bestandteil eines Prüflabors im Inselbetrieb als steuerbare Spannungsquelle oder als Bestandteil eines PHIL-Prüfsystems (Power Hardware In the Loop) mit einer Schnittstelle zwischen den physischen und simulierten Systemen betrieben werden.

**Referenzinstallationen**

Der Mittelspannungs-Umrichter ACS6000 von ABB ist heute in vielen leistungsintensiven Bereichen wie dem Bergbau, der Metallindustrie oder in Schiffsantrieben zu finden. Mit über 2.000 weltweit in Betrieb befindlichen Einheiten liefert der Umrichter die Bandbreite an Leistungen, Spannungen und Frequenzen, die von Kunden benötigt wird →03.

Neben der praktischen Anwendung zu Prüfzwecken kann PEGS auch in der Forschung und Entwicklung im Bereich Netzinfrastruktur, Strom- und Energiesystem-

integration genutzt werden. Darüber hinaus ist der Einsatz in speziellen Prüfständen, z. B. für Kabel, Motoren oder Transformatoren, möglich.

In der Industrie unterscheiden sich die PEGS-Installationen in ihren Spannungen, Leistungen und Funktionalitäten →04. ABB hat bis heute PEGS-Anwendungen für

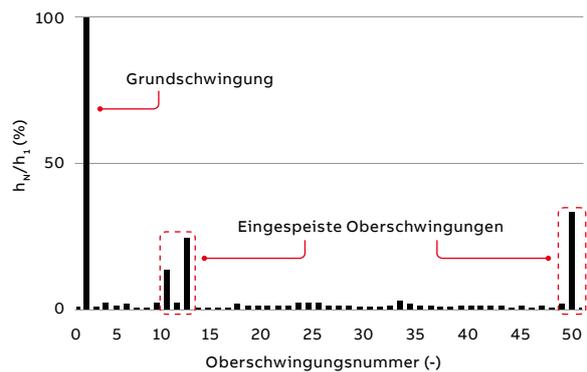
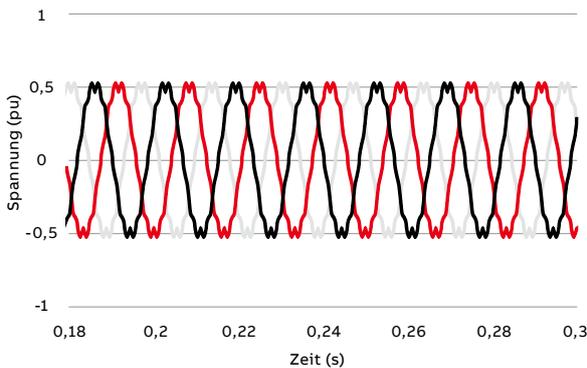
— **ABB begegnet den Herausforderungen mit kundenspezifischen Produkten auf Basis der PEGS-Plattform.**

verschiedene Forschungs- und Prüfeinrichtungen wie das National Renewable Energy Laboratory (NREL) in Colorado, USA, und das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES) in Deutschland bereitgestellt.

**Erfüllung der hohen Anforderungen**

PEGS wurde für hohe Leistungsanforderungen ausgelegt, um sowohl für praktische Zertifizierungsprüfungen als auch für Forschungszwecke eingesetzt werden zu können:

- Hohe Qualität der Ausgangsspannung mit niedrigen THDv50-Werten (< 1 %). Der Modulationsfehler der ersten Harmonischen ist über einen großen Betriebsspannungsbereich sehr klein. Folglich können die Prüfgeräte mit einem nahezu reinen sinusförmigen Spannungsverlauf gespeist werden, dessen Effektivwert (RMS) präzise nach den Anforderungen des Kunden gesteuert werden kann.
- Fähigkeit zur raschen Erzeugung wiederkehrender, unterbrechungsfreier Spannungsabfälle von der Nennspannung bis auf null ( $\leq 1$  ms) →04. Dies ermöglicht die Durchführung sogenannter Low-Voltage Ride Through Tests (LVRT), mit denen die Fähigkeit der Anlage zum „Durchfahren“ von Spannungseinbrüchen geprüft wird. Dies ist z. B. wichtig für Windturbinen, die bei kleineren Netzfehlern nicht abschalten dürfen, um einen Netzzusammenbruch zu verhindern →05.
- Fähigkeit zur Simulation von Ereignissen mit einer hohen Frequenzänderungsrate (Rate of Change of Frequency, RoCof) der angeschlossenen elektrischen Betriebsmittel.
- Möglichkeit zur gleichzeitigen Prüfung zweier Geräte mit unterschiedlichen Spannungsniveaus. So kann der Betreiber der Prüfeinrichtung zwei Endkunden gleichzeitig prüfen.
- Einspeisung von Oberschwingungen. Dies kann zur Schätzung der Netzimpedanz und Überwachung des Netzzustands genutzt werden, z. B. um Inselbildungen zu erkennen. Die Funktion ermöglicht die Durchführung von Zertifizierungsprüfungen mithilfe künstlich verzerrter PEGS-Ausgangsspannungen, die auf die Anforderungen des Kunden zugeschnitten werden können →06.





07

—  
06 Das System ermöglicht die Erzeugung künstlich verzerrter Ausgangsspannungen zu Prüfzwecken.

06a Wellenform.

06b  
Oberschwingungen.

—  
07 Der Trend zur Integration unterschiedlicher Energiequellen wird sich fortsetzen. ABB hilft denjenigen, die ihre Anlagen prüfen und zertifizieren müssen.

### Weitere Vorteile

Forschungs- und Prüfeinrichtungen wie das NREL haben bereits gezeigt, dass der Betrieb des ABB PEGS-Systems zahlreiche Vorteile mit sich bringt. So ermöglicht PEGS die Prüfung und Validierung fortschrittlicher Netzdienstleistungen zur Frequenzstützung (Frequency Response) durch moderne wechselrichtergekoppelte Erzeugungssysteme für Netze mit hoher und niedriger Massenträgheit. Zu den fortschrittlichen Regelkonzepten, die mit PEGS geprüft werden können, gehören: synthetische Schwungmasse, schnelle Frequenzstützung (Fast Frequency Response, FFR), Primärfrequenzstützung und Dämpfung von Leistungspendelungen.

Darüber hinaus ermöglicht PEGS die Erfassung der Impedanzcharakteristik von wechselrichtergekoppelten Erzeugungssystemen in einer großen Bandbreite von Frequenzen (z. B. 0–3 kHz für das NREL CGI-System

—  
Durch die Zusammenarbeit mit nationalen Forschungslaboren hat ABB einen guten Einblick in zukünftige Kundenbedürfnisse.

(Controllable Grid Interface)). Dies ist wichtig, um die Eigenschaften und mögliche Abhilfestrategien gegen harmonische Resonanzen, Regelwechselwirkungen und subsynchrone Schwingungen zu verstehen. Ferner ist PEGS in der Lage, schnelle PHIL-Plattformen zu integrieren, um die Auswirkungen einer schwankenden Stromerzeugung auf Netze unterschiedlicher Größe (Mikronetze, Inselnetze, größere Netze mit gekoppelter

Erzeugung) im geschlossenen Regelkreis zu prüfen. Und da es sich bei PEGS um einen netzbildenden Wechselrichter handelt, können mit dem System verschiedene Methoden der Netzbildung – z. B. f-P-Statik, virtuelle Synchronmaschine und virtueller Oszillator – sowie Schwarzstartstrategien für die wechselrichtergekoppelte Erzeugung nachgebildet und geprüft werden.

Für zu prüfende Wechselrichter ermöglicht PEGS die Prüfung und Validierung von Funktionen – z. B. erweiterte Schutzkonzepte oder Fehlererkennung – im realen Maßstab durch Einspeisung von Gegen- und Nullsystemströmen.

Außerdem kann PEGS zum Testen eines netzformenden Wechselrichters in einer kontrollierten Umgebung genutzt werden, um verschiedene Szenarien für das „Stromnetz der Zukunft“ nachzubilden wie Mikronetze mit fester Frequenz, Netze ohne Massenträgheit und zu 100 % wechselrichterbasierte Netze.

### Erfüllung zukünftiger Anforderungen

Neue elektrische Energiesysteme bringen neue Herausforderungen mit sich →07. ABB bietet nicht nur kundenspezifische Produkte auf Basis der PEGS-Plattform, um heutige Anforderungen zu erfüllen, sondern untersucht auch, wie PEGS-Funktionalitäten und -Anwendungen zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen genutzt werden können. So soll ein neues Steuerungskonzept das Leistungsvermögen von PEGS weiter erhöhen, indem es den gleichzeitigen Betrieb von ACS6000-Einheiten ermöglicht. Dadurch wird der Leistungsbereich von Prüfgeräten erweitert und die Simulation des Verhaltens von Mikronetzsystemen vereinfacht. Weiterhin vorgesehen ist die Integration von Infrastrukturen und externen Leitsystemen, um durch eine schnelle PEGS-Reaktion ein sofortiges Erreichen der erforderlichen Referenzspannung zu gewährleisten, wenn eine externe Regelung mit Rückkopplung benötigt wird. Damit kann PEGS auf Wunsch des Kunden als Bestandteil einer komplexeren Anwendung genutzt werden. Darüber hinaus entwickelt ABB das Konzept eines leistungselektronischen Lastsimulators (Power Electronic Load Simulator), mit dem Kunden Prüfgeräte wie Windturbinen emulieren oder spezielle Zertifizierungsprüfungen (z. B. unbeabsichtigte Inselbildung) durchführen können. Ferner prüft ABB eine Ausführung von PEGS zur Durchführung von Prüfungen und Integrationsstudien für Hochleistungs-Gleichstromanwendungen, z. B. in den Bereichen Traktion und Photovoltaik. Zudem arbeiten Hardwarekonstrukteure und Softwareentwickler zusammen an der Entwicklung von Regelungsstrukturen zur Verbesserung der Plattformnutzung und Steigerung der Leistung von PEGS-Anwendungen.

Durch die enge Zusammenarbeit mit nationalen Forschungslaboren hat ABB einen guten Einblick in die zukünftigen Bedürfnisse von Kunden und Endkunden, die ihre Erzeugungsanlagen prüfen lassen müssen. Das Streben des Unternehmens nach Spitzenleistung, eine branchenübergreifende Zusammenarbeit und der sich entwickelnde Markt für erneuerbare Energien sind Aspekte, die die Innovation und das weltweite Angebot von ABB vorantreiben. •

# Roboter und Handhabung





ABB bietet Roboter, die in der Lage sind, auf variable und teilweise unvorhersehbare Veränderungen in ihren Aufgaben zu reagieren, indem sie aus ihren individuellen und kollektiven Erfahrungen lernen. So entsteht nicht nur eine KI-gestützte „Belegschaft“, die mit der Zeit immer intelligenter wird, es eröffnen sich auch neue Möglichkeiten für Betriebe, bei der Montage und anderen funktionalen Arbeitsabläufen flexibler und experimentierfreudiger zu sein.

- 48      Präzises robotergestütztes Depalettieren durch maschinelles Lernen
- 52      OmniCore™ bringt Roboter auf Touren

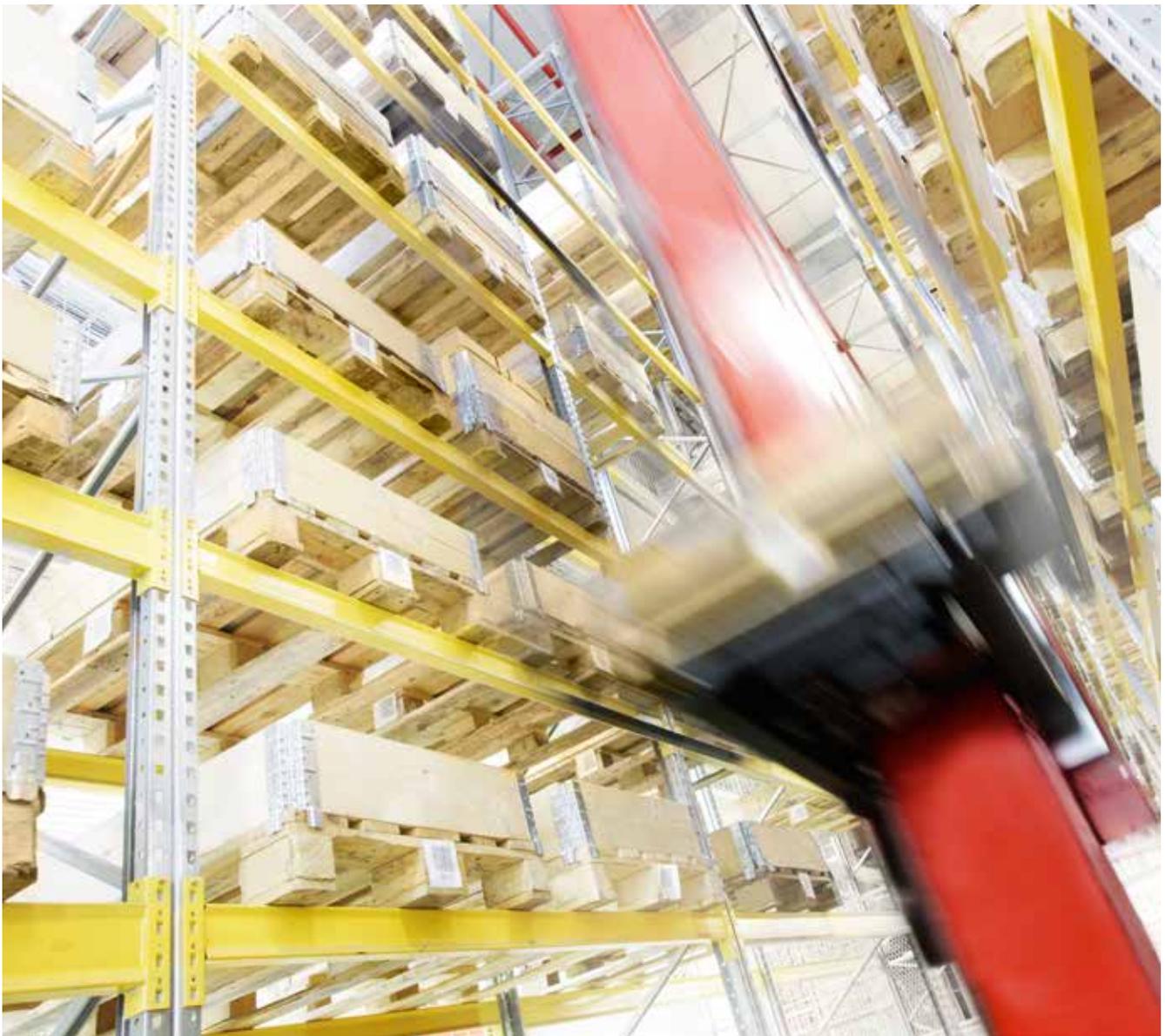


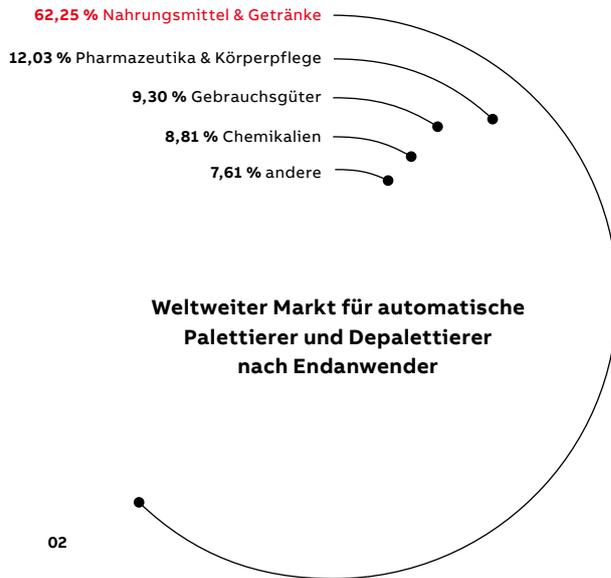
---

ROBOTER UND HANDHABUNG

# Präzises robotergestütztes Depalettieren durch maschinelles Lernen

Angetrieben durch die Einführung neuer Technologien entlang der weltweiten Lieferkette fordern Logistikbetriebe schnellere, stärker automatisierte und präzisere Depalettierungstechnologien. Um dieser Herausforderung zu begegnen, erweitert ABB die Lösung des Problems um ein bahnbrechendes Element: maschinelles Lernen.





—  
Titelbild: Distributions- und Fulfillment-Zentren suchen nach neuen Möglichkeiten, um die Produktivität ihrer Infrastruktur und Mitarbeiter zu steigern.

—  
01 Laut Technavio ist auf dem weltweiten Markt für automatische Palettierer und Depalettierer im Jahr 2021 ein Wachstum von fast 5 % zu erwarten.

Die weltweite Lieferkette erfährt durch die Einführung von Technologien der Industrie 4.0 grundlegende Veränderungen. Künstliche Intelligenz (KI), das Internet der Dinge, fortschrittliche Sensorik und Big-Data-Analysen verändern die Art und Weise, wie Produkte entwickelt, getestet, gefertigt und vertrieben werden. Hinzu kommen ein wachsender Online-Handel und ein angespannter Arbeitsmarkt. Dies zwingt Logistikbetriebe dazu, entsprechend zu reagieren und nach neuen Möglichkeiten zu suchen, um die Produktivität ihrer Infrastruktur und Mitarbeiter zu steigern. Hierbei spielt die Automatisierung von Prozessen eine entscheidende Rolle.

Eine der häufigsten Anwendungen in Distributions- und Fulfillment-Zentren ist die Depalettierung, also das Aufnehmen von Kisten (technisch als Bestandseinheiten oder „Stock Keeping Units“ (SKUs) bezeichnet) von einer Palette und die anschließende Übergabe an ein Ausgangssystem, z. B. durch Abstellen auf ein Förderband. Bei dieser häufig anstrengenden, aber besonders in großen Industriezweigen wie der Nahrungsmittel- und Getränke-, Pharma-, Verbrauchsgüter- und chemischen Industrie →01 unverzichtbaren Arbeit versuchen Automatisierungsunternehmen anzusetzen, um die Produktivität in der Logistik zu steigern – und gleichzeitig körperlicher Ermüdung und Verletzungen der Mitarbeiter durch wiederholte Belastung entgegenzuwirken, die zu verminderter Effizienz, krankheitsbedingten Ausfällen und steigenden Versicherungskosten führen können.

Es stehen zwar bereits automatisierte Systeme zur Verfügung, die Depalettierungsaufgaben in begrenz-

tem Umfang übernehmen können, doch da die Fehlerraten noch immer recht hoch sind, ist weiterhin manuelle Unterstützung erforderlich. Typischerweise haben es Distributionszentren und Lager heute mit

—  
**Depalettierung umfasst das Aufnehmen von einer Palette und die Übergabe an ein Ausgangssystem.**

verschiedenen SKUs zu tun, die sich in Material, Größe, Form und Farbe unterscheiden. Je nach Art der zu verarbeitenden Kisten kann zwischen zwei Fällen unterschieden werden:

- Gleichartige SKUs →02a, d. h. auf den Paletten befinden sich in jeder Lage Kisten der gleichen Größe.
- Gemischte SKUs →02b, d. h. die Palette enthält Kisten unterschiedlicher Größe, die willkürlich angeordnet sind.

#### Das Problem traditioneller Ansätze

Die meisten vorhandenen Automatisierungssysteme gehen bei der Depalettierung in drei Schritten vor:

- Datenerfassung: Eine über dem Depalettierungsbereich angeordnete 3D-Kamera nimmt Bilder der Kisten in der Handhabungsumgebung auf.
- Bildverarbeitung: Die erfassten Bilder werden verarbeitet, um die Position und Größe der aufzunehmenden Kisten zu bestimmen.
- Aufnehmen (Picking): Das System bestimmt die am besten geeignete Greifposition und Ausrichtung zum Aufnehmen der Objekte, ohne dass Kisten beschädigt oder fallen gelassen werden.

Dieser traditionelle Ansatz nutzt Segmentierungs- und Klassifizierungsalgorithmen, um Kisten zu identifizieren und von ihrem Hintergrund zu isolieren, und 2D-Filter und Masken, um die Konturen, die Position und Ausrichtung der Kisten zu erkennen. Ist eine Kiste identifiziert, berechnet das System ihre Position und Ausrichtung und sendet die Daten an einen Roboter, der die Kiste aufnimmt.

Doch während gemischte SKUs relativ einfach voneinander zu unterscheiden sind, stellen gleichartige SKUs ein erhebliches Problem dar, da alle Kisten die gleiche Größe und Höhe besitzen. Dies macht es schwierig, das Ende einer und den Anfang der nächsten Kiste zu



**Toni Roda**  
Robotics and Discrete  
Automation  
Barcelona, Spanien  
toni.roda@es.abb.com



02a



02b

bestimmen – eine Aufgabe, die selbst für das menschliche Auge nicht ganz einfach ist, besonders wenn die Kisten noch mit Plastikfolie umhüllt sind. Tatsächlich bestätigen Labortests, dass es bei der Handhabung gemischter SKUs mithilfe geometrischer Algorithmen in nur etwa 2 % der Fälle zu Segmentierungsfehlern kommt, während bei gleichartigen SKUs in 33 % der Fälle Fehler auftreten.

**Maschinelles Lernen verändert das Bild**

Der Ansatz von ABB ähnelt zwar dem traditioneller Systeme, erweitert die Lösung des Depalettierungsproblems aber um ein bahnbrechendes Element: maschinelles Lernen. Die Hauptelemente der Lösung sind ein von ABB entwickelter und gefertigter 3D-Bildverarbeitungssensor (Vision-Sensor), eine Steuerungseinheit mit einer auf maschinellen Lernverfahren

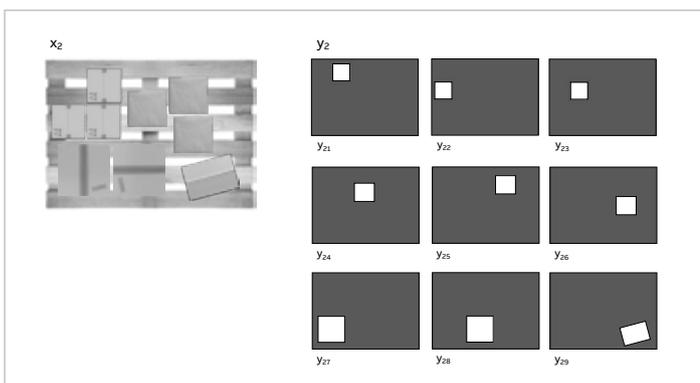
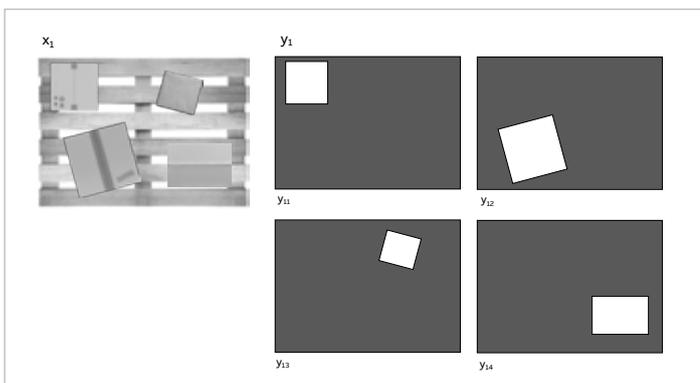
basierenden bildverarbeitenden Software, die sowohl für gleichartige als auch gemischte SKUs verwendet werden kann, und einem Roboter mit einem zum Aufnehmen von Kisten geeigneten Greifer.

Maschinelles Lernen ermöglicht die Entwicklung von Algorithmen, die mithilfe von Beispielen in der Lage sind, die Erfolgsrate beim Picking zu verbessern. Die Beispielbilder von ABB werden mit dem eigenen Vision-Sensor erfasst, und die Erfolgsrate des Systems ist mit zunehmender Zahl der Beispiele kontinuierlich gestiegen. Durch sogenanntes überwachtes Lernen – eine

— Die Kombination von maschinellen Lernalgorithmen mit geometrischen Algorithmen hat die Fehlerrate drastisch reduziert.

Trainingsfunktion, die Beispiele von Eingabe-Ausgabe-Paaren nutzt, um eine Eingabe einer Ausgabe zuzuordnen – erstellt ABB Modelle von gleichartigen und gemischten SKUs, die auf die Eingabe eines Vektors  $x$  einen Vektor  $y$  mit für den Nutzer wertvollen Informationen ausgeben →03. Im Falle der Depalettierung ist die Eingabe ein vom Vision-Sensor erfasstes Bild und die Ausgabe eine Liste von Binärbildern, in denen die Lage einer Kiste durch weiße Bildpunkte auf schwarzem Hintergrund gekennzeichnet ist.

Beim überwachten Lernen ist der Datensatz die Sammlung markierter Beispiele  $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N$ , wobei  $x$  für die vom Vision-Sensor erfassten Bilder und  $y$  für eine Reihe von Masken für jede Kiste in einem erfassten Bild steht →03. Der Markierungsvorgang besteht in erster Linie aus der Erkennung von Kistenkonturen in einer Reihe erfasster Bilder. Ist das maschinelle Lernmodell gut trainiert, sollte es in der Lage sein, die Position und Ausrichtung



03

## — KI PLUS ROBOTIK: DIE FORMEL FÜR FLEXIBLE FABRIKEN

Die Kombination von künstlicher Intelligenz (KI) und Robotik bietet die Möglichkeit, starre Anwendungen lernfähig zu machen und so die Flexibilität in der Fabrikautomatisierung deutlich zu verbessern. Das Ergebnis ist eine Erweiterung der Funktionalitäten von Robotern zur Steigerung der Produktivität, Verbesserung der Arbeitssicherheit und Beschleunigung der Produktion.

ABB nutzt KI und maschinelles Lernen, um Roboter zu entwickeln, die in der Lage sind, Paletten präzise abzuräumen (siehe nebenstehenden Artikel), ihre Umgebung zu erfassen und darauf zu reagieren, Fehler zu erkennen und zu analysieren und Prozesse autonom zu optimieren.

KI ermöglicht es Robotern, eine Vielzahl von Objekten (z. B. Schweißnähte) zu inspizieren und analysieren, um Fehler und Qualitätsmängel zu erkennen. Ein Beispiel hierfür ist der erste mit Sensoren ausgerüstete vernetzte Zerstäuber für Lackierroboter, der eine intelligente Diagnose und Optimierung der Lackqualität in Echtzeit ermöglicht und gleichzeitig den Lackverlust beim Farbwechsel um 75 % und den Druckluftverbrauch um 20 % senkt.

Darüber hinaus nutzt ABB KI-Algorithmen zur Analyse des Verhaltens von Pressen und Robotern in Press- und Stanzlinien, um Wartezeiten zu minimieren. •

—  
02 Beispiele von gleichartigen und gemischten SKUs.

02a Gleichartige SKUs: Die Palette enthält in jeder Lage Kisten der gleichen Größe.

02b Gemischte SKUs: Auf der Palette befinden sich Kisten unterschiedlicher Größe in willkürlicher Anordnung.

—  
03 Die maschinelle Lernsoftware von ABB erstellt Modelle von gleichartigen und gemischten SKUs, die auf die Eingabe eines Vektors  $x$  einen Vektor  $y$  mit für den Nutzer wertvollen Informationen ausgeben.  $x$  sind die vom Vision-Sensor erfassten Bilder und  $y$  eine Reihe von Masken für jede Kiste in einem erfassten Bild.

—  
04 ABB nutzt KI, um Roboter bei der Erkennung und Analyse von Fehlern zu unterstützen.



04

von bisher unbekanntem Beispielen in einem vom Sensor neu aufgenommenen Bild vorherzusagen und es einem Roboter somit ermöglichen, Kisten von bisher nicht gesehener Größe und Geometrie präzise aufzunehmen →04.

Bei der von ABB durchgeführten Fallstudie umfassen die Trainingsdaten viele Tausend Bilder, die vom Vision-Sensor aufgenommen wurden. Während einige der Bilder während der ersten Trainingsphase im Labor aufgenommen wurden, entstand der weitaus größte Teil in einer realen Produktions-

umgebung. Nach der Bildverarbeitung mithilfe geometrischer Algorithmen und Filter wurden die Beispieldaten von Datenanalysten markiert und die Konturen der Kisten identifiziert. Infolgedessen sank die Segmentierungsfehlerrate bei der Verarbeitung gleichartiger SKUs auf unter 0,25 % und bei gemischten SKUs auf unter 0,02 %. Alles in allem hat die Fallstudie von ABB gezeigt, dass sich durch Kombination von maschinellen Lernalgorithmen mit geometrischen Algorithmen die Fehlerquote beim Aufnehmen von Kisten von einer Palette drastisch reduzieren lässt. •

### — Literaturhinweis

[1] <https://www.businesswire.com/news/home/20170606005883/en/Global-Automatic-Palletizer-Depalletizer-Market-Segmentation-Forecasts>.



01

ROBOTER UND HANDHABUNG

# OmniCore™ bringt Roboter auf Touren

Entwickelt für die digitale Transformation der Industrie, bietet die ABB-Robotersteuerung OmniCore™ ein Höchstmaß an Flexibilität, Konnektivität und Performance für Motion-Control-Anwendungen.



**Peter Fixell**  
ABB Robotics  
Vasterås, Schweden

[peter.fixell@se.abb.com](mailto:peter.fixell@se.abb.com)

Es ist vergleichbar mit einer Bevölkerungsexplosion: Im Jahr 2013 gab es gerade einmal 1,3 Millionen Industrieroboter weltweit. Bis 2022 werden es laut einer

Die Digitalisierung wird der wichtigste Treiber für den Verkauf von Robotern sein.

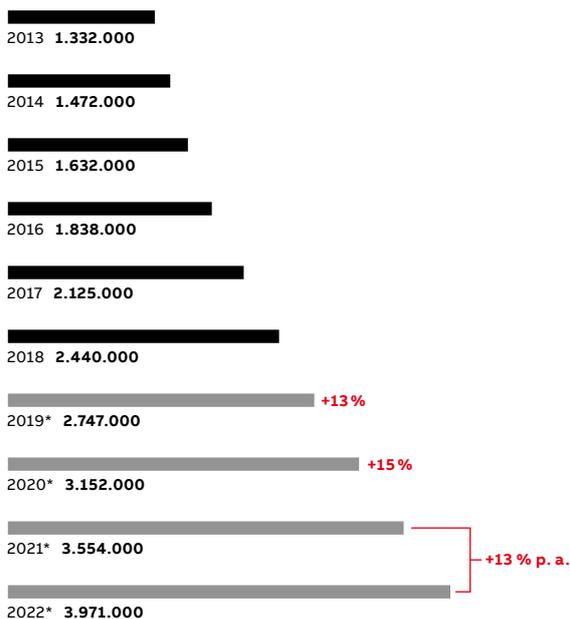
Prognose der International Federation of Robotics (IFR) an die 4 Millionen sein. Dies entspricht einem jährlichen Wachstum von 13% →02. Der bedeutendste Trend, der – neben vielen anderen – diese explodierende Nachfrage antreibt, ist wahrscheinlich die Digitalisierung im Verbraucher-, Computer- und Kommunikationssektor.

ABB hat schon frühzeitig das enorme Potenzial einer flexiblen Automatisierung erkannt. Tatsächlich ist davon auszugehen, dass dies schon bald der wichtigste Treiber für den Verkauf von Robotern sein wird. Gemessen an den Produktivitätssteigerungen und Kostensenkungen könnten die Auswirkungen neuer digitaler Technologien in den von ABB berührten Märkten bis zum Jahr 2025 einen Wert von 4–11 Billionen USD erreichen →03.

Die in →03 aufgeführten zwölf Branchen haben mehrere Herausforderungen und potenzielle Vorteile gemein:

- Die Automatisierung verändert sich schneller als je zuvor.
- Kunden benötigen zunehmend individuell zugeschnittene Lösungen und eine größere Integrationsflexibilität.

### Geschätzter weltweiter Bestand an in Betrieb befindlichen Industrierobotern 2013–2018 und Prognose für 2019–2022\*



\* Prognose

02

01 Die OmniCore™-Robotersteuerung und das tragbare Programmiergerät FlexPendant.

02 Laut der International Federation of Robotics (IFR) werden weltweit bald an die 4 Millionen Industrieroboter in Betrieb sein [1].

- Kunden müssen vorhandene Produktionslinien um neue Automatisierungslösungen ergänzen – häufig unter beengten Platzverhältnissen, sodass Kompaktheit und Flexibilität gefragt sind.
- Hersteller haben Mühe, Produkte mit kürzeren Zyklen auf den Markt zu bringen und gleichzeitig eine hohe Produktivität zu gewährleisten.
- Märkte wachsen dort, wo Automatisierung genutzt wird.
- Märkte und Technologien entwickeln sich rasch, wenn Roboter für neue Aufgaben und Anwendungen trainiert werden.
- Optimierte Lösungen sind der Schlüssel zu einer höheren Wettbewerbsfähigkeit für Hersteller.

Angesichts dieser Trends und den damit verbundenen Auswirkungen auf das industrielle Umfeld hat sich ABB dazu entschlossen, eine neue Familie von Robotersteuerungen mit dem Namen OmniCore™ zu entwickeln →01. Für Roboter ist die Steuerung so etwas wie ein Gehirn. Sie enthält nicht nur die Programme für die Bewegungssteuerung und die

Lernfähigkeit des Roboters, sondern ermöglicht auch die Anbindung an die IT-Systeme, Produktionsmaschinen und andere Roboter in einer Fabrik.

OmniCore™ wurde für die Herausforderungen digitaler Fertigungsumgebungen (wie sie oben beschrieben wurden) entwickelt, d. h. 24-stündige Produktionszyklen, wachsender Bedarf an vorausschauender Wartung und vermehrte Nachfrage nach Robotern, die dafür ausgelegt sind, mit Menschen zusammenarbeiten (sogenannte Cobots). Den Schlüssel zur Erfüllung solcher Herausforderungen

OmniCore™ ermöglicht die Anbindung an eine Vielzahl von Feldbussen, Kraftsteuerungen und Bildverarbeitungssystemen.

bietet ABB Ability™, die Plattform von ABB für erweiterte Services für vernetzte Roboter. Damit ist ABB in der Lage, erstklassige Bewegungssteuerung und Bahngenauigkeit in einem Package bereitzustellen, das um die Hälfte kleiner ist als die kleinste bisherige Steuerung, was eine maximale Installationsflexibilität und optimale Flächenausnutzung ermöglicht. Zudem basiert die OmniCore™-Familie auf einem modularen Konzept, das eine Erweiterung des Portfolios um individuelle Lösungen ermöglicht, wenn sich die Gegebenheiten mit fortschreitender Entwicklung ändern.

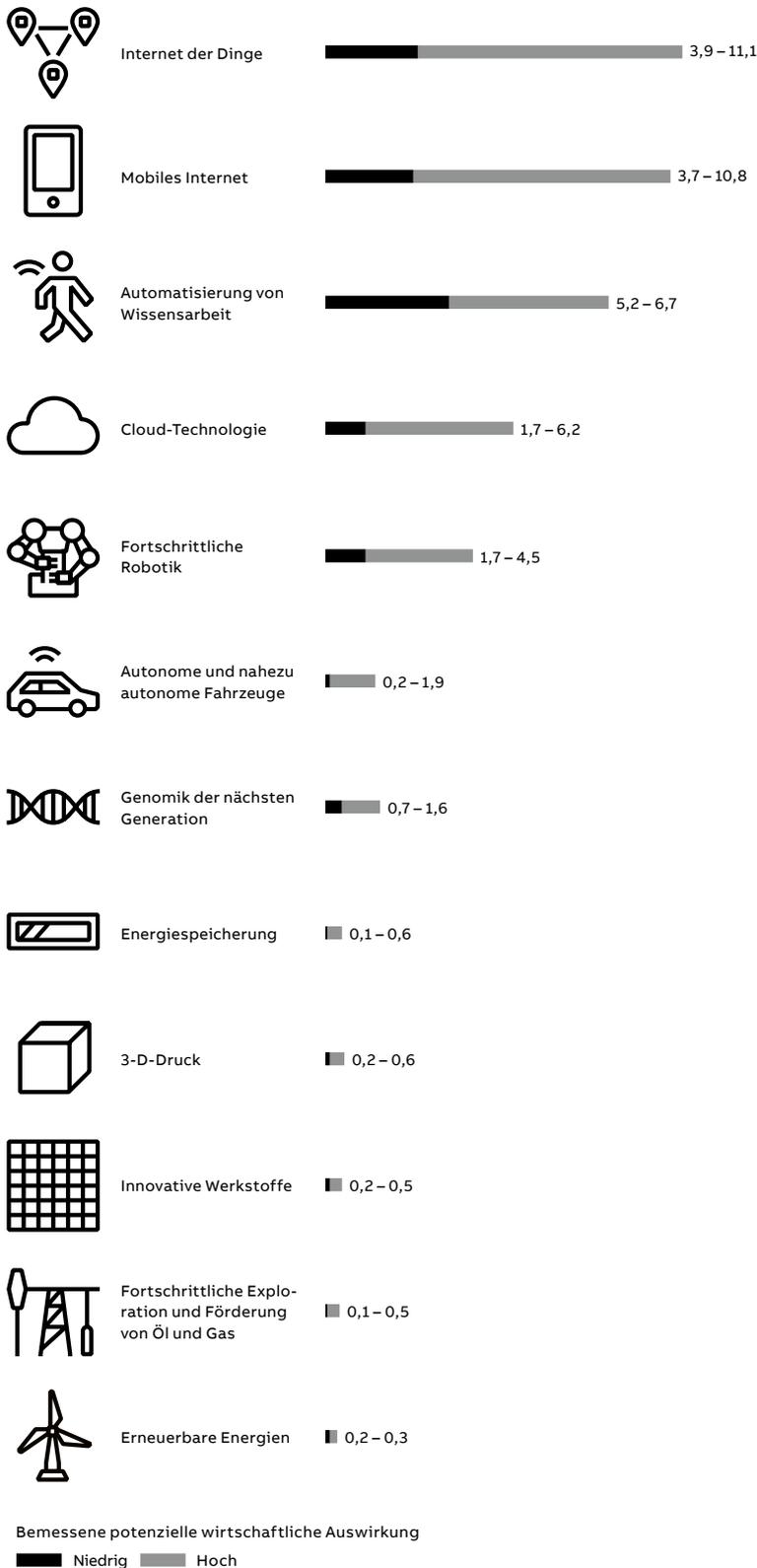
#### Eine neue Ära der digitalen Robotersteuerung

Die neue Steuerung wurde als Antwort auf die Forderung von Kunden nach einer flexibleren Lösung zur Steuerung verschiedener Roboter in einzigartigen Anwendungen entwickelt. Dies hat ABB dazu veranlasst, das Designkonzept zu überdenken und verstärkt auf konfigurierbare Bausteine und einheitliche Schnittstellen zu setzen, um eine noch breitere Palette an individualisierbaren Lösungen bieten zu können.

Das Ergebnis ist ein bedeutender Schritt in Richtung einer neuen Ära der digitalen Robotersteuerung mit vielfältigen Möglichkeiten der Bewegungssteuerung und individuellen Lösungen für die vernetzte Fabrik der Zukunft. Die „Power-on and Connect“-Funktionalität bietet Kunden unmittelbaren Zugang zu den ABB Ability™ Connected Services, die eine Reduzierung der Störungen um bis zu 25 % und eine um bis zu 60 % schnellere Wiederherstellung des Systems ermöglichen.

Darüber hinaus helfen die ABB Ability™ Connected Services dabei, Daten in praktisch nutzbare Informationen umzuwandeln. So lässt sich z. B. die kontinuierliche

**ABB ist „mittendrin“ in einem erheblichen Wertschöpfungspotenzial**  
 (wirtschaftliche Auswirkung in Billionen USD pro Jahr)



Überwachung von Getriebschwingungen mithilfe von maschinellen Lernalgorithmen zur vorbeugenden oder korrekiven Wartung nutzen. OmniCore™ ist zudem für eine einfache und nahtlose Anbindung an eine Vielzahl von Feldbussen, Kraftsteuerungen und Bildverarbeitungssystemen ausgelegt.

Ferner verfügt OmniCore™ über Cybersicherheits-elemente, die darauf ausgelegt sind, Datenverlust und Produktionsstillstände zu verhindern, was sonst zu erheblichen Umsatzeinbußen führen könnte. Ebenfalls enthalten ist SafeMove2, eine Softwarelösung von ABB, die Industrieroboter in kollaborative Roboter verwandelt, die ohne Beeinträchtigung der Produktivität sicher Seite an Seite mit Menschen zusammenarbeiten können.

Zur Steuerung gehört das ebenso leistungsstarke wie intuitive Handbediengerät FlexPendant von ABB zur Programmierung von Industrierobotern →04. Das FlexPendant verfügt über eine ergonomische 3D-Joysticksteuerung und ein 8" großes Multi-Touch-Display, mit Pinch-, Wisch- und Tipp-Funktion für eine einfache

Ebenfalls enthalten ist SafeMove2, eine Softwarelösung, die Industrieroboter in kollaborative Roboter verwandelt.

Roboterprogrammierung. FlexPendant ist Hot-Plug-fähig, d. h. es kann im eingeschalteten Zustand getrennt und angeschlossen werden. So kann es für mehrere Roboter genutzt werden, um die Implementierung zu beschleunigen und Kosten zu minimieren.

**Zukünftige Auswirkungen auf die Industrie**

ABB geht davon aus, dass die zunehmende Digitalisierung weiterhin starke Auswirkungen auf die Industrie haben wird. Obwohl die Digitalisierung vornehmlich ein von der Verbraucherseite getriebener Trend ist, der von mobilen und Breitbandtechnologien ermöglicht wird, ist er mittlerweile auch in der Industrie allgegenwärtig. Kunden erkennen zunehmend, dass die Hersteller von Robotern ihnen auch bei der Optimierung ihrer Betriebsabläufe aus der Ferne helfen können.

Somit ist die Digitalisierung keine Vision mehr, sondern Realität. Tatsächlich erfährt ABB selbst auch einen digitalen Wandel und weiß, was dies für Unternehmen bedeutet, was damit verbunden ist und welche zahllosen Vorteile in puncto vorausschauende Wartung, Fernüberwachung, Optimierung, Kostenreduktion, Effizienzsteigerung und Verbesserung der Sicherheit sich bieten. •



04

—  
03 Das McKinsey Global Institute hat 12 Technologiebereiche identifiziert, die in naher Zukunft eine bedeutende Rolle spielen werden. ABB sieht hier ein enormes Potenzial für die Bereitstellung von digitalen Produktionssystemen.

—  
04 Das 8" Multi-Touch-Display des FlexPendant unterstützt Pinch-, Wisch- und Tipp-Bewegungen für eine einfache Roboterprogrammierung. FlexPendant kann für mehrere Roboter genutzt werden, um die Implementierung zu beschleunigen und Kosten zu minimieren.

—  
**Literaturhinweis**

[1] IFR World Robotics Presentation - 18.09.2019. Online verfügbar unter: <https://ifr.org/downloads/press2018/IFR%20World%20Robotics%20Presentation%20-%2018%20Sept%202019.pdf>



01

BUZZWORDS ENTSCHLÜSSELT

# 4D-Druck

Durch Kombination von fortschrittlichen 3D-Druckverfahren mit neuen intelligenten Werkstoffen entstehen an führenden Hochschulen und Laboren analoge autonome Objekte, die sich mit der Zeit verändern, ohne dass dafür ein computergestützter Antrieb erforderlich ist. Das branchenübergreifende Potenzial dieser Technologie ist immens.



**Chau Hon Ho**  
ABB Future Labs  
Baden-Dättwil, Schweiz

chau-hon.ho@  
ch.abb.com

Wie wäre es, wenn sich künstlich erschaffene, komplex geformte Objekte wie lebende Organismen verhalten könnten, indem sie auf äußere Reize reagieren und sich ihrer Umgebung anpassen? Und was wäre, wenn diese Objekte wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückkehren könnten, sobald der Reiz wegfällt oder ein anderer aktiviert wird? Durch Veränderung einer grundlegenden Eigenschaft wie der Form könnten ohne elektromechanische und computergestützte Steuerungen Strukturen geschaffen werden, die sich selbst zusammenfügen, anpassen oder sogar reparieren. Die Auswirkungen für die Gesellschaft und Wirtschaft wären revolutionär. Auch wenn es danach klingt, ist dieser Gedanke längst nicht mehr Science-Fiction. Weltweit sind Forscher an führenden Forschungsinstituten dabei, fortschrittliche 3D-Druckverfahren mit neuen intelligenten Werkstoffen zu kombinieren, um 4D-gedruckte Objekte zu erschaffen, die sich genau so verhalten.

Im Zeitalter der vierten industriellen Revolution werden Branchen, die sich solche Möglichkeiten zu Nutze machen, wirtschaftlich zweifellos im

Vorteil sein. Vor diesem Hintergrund investieren Institutionen und Unternehmen in neue, bahnbrechende Technologien, von denen der 4D-Druck besonderes Potenzial bietet.

—  
Die 4D-Technologie ermöglicht die Entwicklung analoger autonomer Produkte ohne computergestützten Antrieb.

Durch Kombination von 3D-Druckverfahren mit intelligenten Werkstoffen, mathematischer Modellierung und Algorithmen des maschinellen Lernens erschaffen Forscher dreidimensionale Objekte, die sich auf bestimmte externe Reize hin mit der Zeit verändern. Dadurch wird der 3D-Druck um eine vierte Dimension ergänzt und eine bisher nie dagewesene strukturelle Autonomie erreicht. So könnten analoge autonome Produkte oder Komponenten entwickelt werden, die in der Lage sind,

—  
01 4D-gedruckte achteckige Formen, entwickelt im Self-Assembly Lab des MIT. Die ursprünglich in einer flachen Ebene vorliegenden Objekte verwandeln sich selbstständig in ein 3D-Objekt.

—  
02 Dieser Roboterarm wurde in vier Tagen im 3D-Druck gefertigt und wiegt 50 % weniger als das Originalteil.



02

sich zu verändern, ohne dass dafür ein computergestützter Antrieb erforderlich ist. 4D-gedruckte Komponenten, die ihre Gestalt verändern oder sich ohne Motoren, Drähte oder aktive Energiequellen bewegen, würden sich auf ähnliche Weise verhalten wie biologische Organismen – autonom →01. Die zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten für solche Strukturen im Bauwesen, im Transportwesen, in der Textilindustrie, im Gesundheitswesen und in der Luft- und Raumfahrt sind immens.

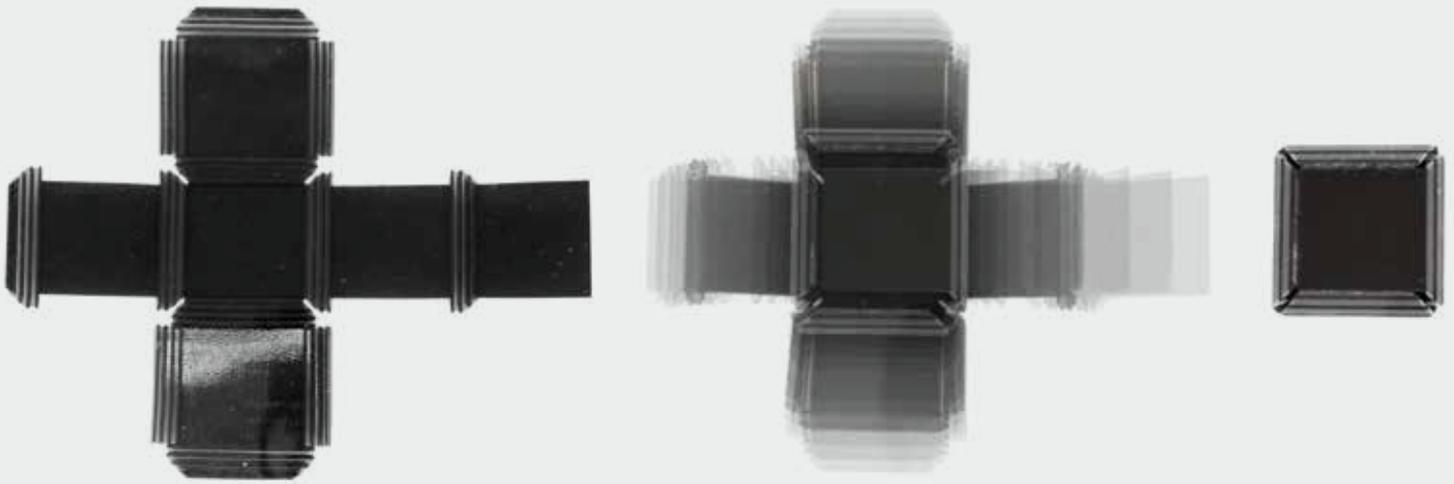
### 3D-Druck: Grundlagen

Die additive Fertigung, wie der in den 1980er Jahren erfundene 3D-Druck auch genannt wird, unterscheidet sich von traditionellen Fertigungsverfahren, bei denen Teile gegossen, geformt oder gefräst werden. Hier wird das zu fertigende Objekt durch schichtweises Auftragen von Material in programmierter Form aufgebaut. Auch wenn er noch nicht überall gängige Praxis ist, findet der 3D-Druck z. B. in der Robotik, der Biomedizin sowie der Luft- und Raumfahrttechnik breite Anwendung, da er die Herstellung einzigartiger, maßgeschneiderter 3D-Strukturen ermöglicht. Heutzutage

—  
Im Mittelpunkt stehen drei grundlegende Funktionalitäten: Selbstmontage, Selbstanpassung und Selbstreparatur.

werden zunehmend mathematische Modellierungsverfahren und Algorithmen des maschinellen Lernens genutzt, um die Konstruktion und Materialentwicklung zu unterstützen und den Druckvorgang zu steuern. Im Jahr 2019 nutzte das niederländische Unternehmen MX3D den 3D-Druck, um den Arm eines ABB-Roboters strukturmechanisch anzupassen und zu optimieren. Dank eines speziellen 3D-Druckverfahrens (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) konnten die komplexen organischen Geometrien aufrecht gedruckt werden.

Mithilfe intelligenter Algorithmen wurden die optimale Druckstrategie und die Orientierung des Werkzeugwegs für jedes geometrische Merkmal bestimmt. Hier konnten durch genera-



03a

tive Gestaltung Zeit und Kosten gespart werden, indem die Produktivität erhöht und der Materialabfall reduziert wurde – wichtige Aspekte für die maßgeschneiderte Roboterherstellung →02 [1].

#### **Auf dem Weg zum 4D-Druck**

Die Entwicklung intelligenter Werkstoffe – Materialien mit funktionalen oder reaktiven Komponenten, deren Verhalten so berechnet ist, dass sie auf bestimmte externe Reize reagieren – und die Verfügbarkeit von 3D-Druckverfahren legten die Grundlagen für den 4D-Druck.

Der Begriff 4D-Druck wurde vom Architekten und Informatiker Skylar Tibbits im Jahr 2013 geprägt. Während sich viele Labore mit dieser Kombination

—  
 Man stelle sich undichte  
 Wasserleitungen in einem  
 Krisengebiet vor, die sich  
 selbst reparieren können.

befassten, gründeten Tibbits und seine Kollegen am Massachusetts Institute of Technology (MIT) im Jahr 2014 das Self-Assembly Lab. Im Mittelpunkt von Tibbits' Vision stehen drei grundlegende Funktionalitäten von 4D-gedruckten Objekten: Selbstmontage, Selbstanpassung und Selbstreparatur.

**Selbstmontage:** Wären Strukturen in der Lage, sich autonom, d. h. ohne menschliches Zutun oder die Hilfe eines elektromechanischen Systems, zu einer bestimmten Zeit und an einem bestimmten Ort selbst zusammenzufügen bzw. zu entfalten, könnte dies den

Bau von Strukturen oder sogar Gebäuden an schwer erreichbaren oder gefährlichen Orten erleichtern. Antennen, die sich selbstständig im Weltall errichten, wären ebenso möglich wie winzige Objekte, die sich im menschlichen Körper zu medizinischen Zwecken selbst zusammenfügen.

**Selbstanpassung:** Durch 4D-Druck lassen sich Sensorik- und Aktorikfunktionen in einer gedruckten Struktur kombinieren, wodurch elektromechanische Systeme überflüssig werden. Die daraus resultierende Reduzierung der Komponenten, Montagezeit, sowie des Material- und Energieeinsatzes führen wiederum zu Kosteneinsparungen. Eine mögliche Anwendung sind Baustoffe, die sich autonom an Witterungsbedingungen anpassen.

**Selbstreparatur:** Aus der Fähigkeit zur Selbstmontage folgt die Fähigkeit zur Demontage. Dies wiederum öffnet die Tür zum Konzept der Selbstheilung. Man stelle sich z. B. undichte Wasserleitungen in einem Krisengebiet vor, die sich ohne Erkennungs- und Lokalisierungssysteme oder menschlichen Eingriff selbst reparieren können – oder medizinisch implantiertes intelligentes Gewebe, das in der Lage ist, sich selbst zu heilen, ohne dass invasive Eingriffe notwendig sind.

#### **Sich verändernde intelligente Strukturen**

Ein erfolgreicher 4D-Druck erfordert ein geeignetes 3D-Druckverfahren, intelligente Werkstoffe, einen externen Reiz (z. B. Temperatur, Feuchte, Magnetfeld usw.), einen wohldefinierten Mechanismus der Interaktion zwischen dem Reiz und dem Werkstoff (z. B. Formänderung durch Wasseraufnahme) und die Anwendung mathematischer Modellierungsverfahren zur Bestimmung der Materialverteilung und Funktionalität sowie zur späteren Vorhersage und Programmierung der Bewegung. Auf diese Weise wird die gewünschte Veränderung in Form, Eigenschaft oder Funktion erreicht.

Um die gewünschte Formänderung und Struktur zu erreichen, müssen die intelligenten Werkstoffe in der Lage sein, sich nach dem Druck zu biegen, falten, verdrehen oder kräuseln. So kann z. B. durch Selbstfaltung aus einer flächigen Struktur eine kubische Form →03a [2] oder durch Verbiegung bzw. Kräuselung aus einer zweidimensionalen Form beim Eintauchen in Wasser eine dreidimensionale Blume entstehen →03b [3]. Oder ein eindimensionaler Drahtstrang könnte sich selbst zu einem dreidimensionalen Drahtrahmen falten →03c [4,5].

Sich selbst zusammenfügende Strukturen könnten die Errichtung an gefährlichen Orten erleichtern.

### Reversible Formänderung

Heute sind komplexe sogenannte Formgedächtniswerkstoffe (Shape Memory Materials, SMMs) in der Lage, sich einen bestimmten Zustand zu „merken“. Um diesen Formgedächtniseffekt (Shape Memory Effect, SME) zu nutzen, sind mindestens zwei Programmierschritte erforderlich: Zunächst wird ein bestimmter Reiz aktiviert, woraufhin das 3D-gedruckte Objekt von seiner ursprünglichen Form in einen temporären Zustand übergeht. Diesen behält das Objekt bei, bis ein zweiter Reiz dafür sorgt, dass das Objekt in seine ursprüngliche Form zurückkehrt. Nachdem sie einmal verändert wurde, kann die Struktur – durch Programmierung oder ohne Programmierung – den temporären Zustand immer wieder herstellen. Es ist also ein reversibler Prozess [6].

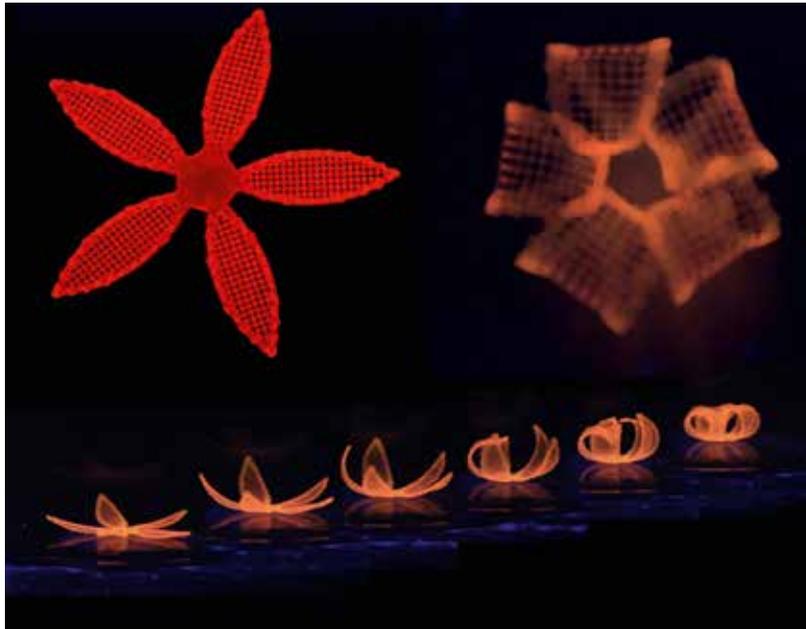
Die meisten für den 4D-Druck untersuchten SMMs basieren auf Hydrogelen oder flüssigkristallinen Elastomeren sowie verschiedenen Kombinationen

03 Intelligente Werkstoffe können sich nach dem Drucken verbiegen, falten, verdrehen oder kräuseln, um in einer bestimmten Zeit die gewünschte Form anzunehmen.

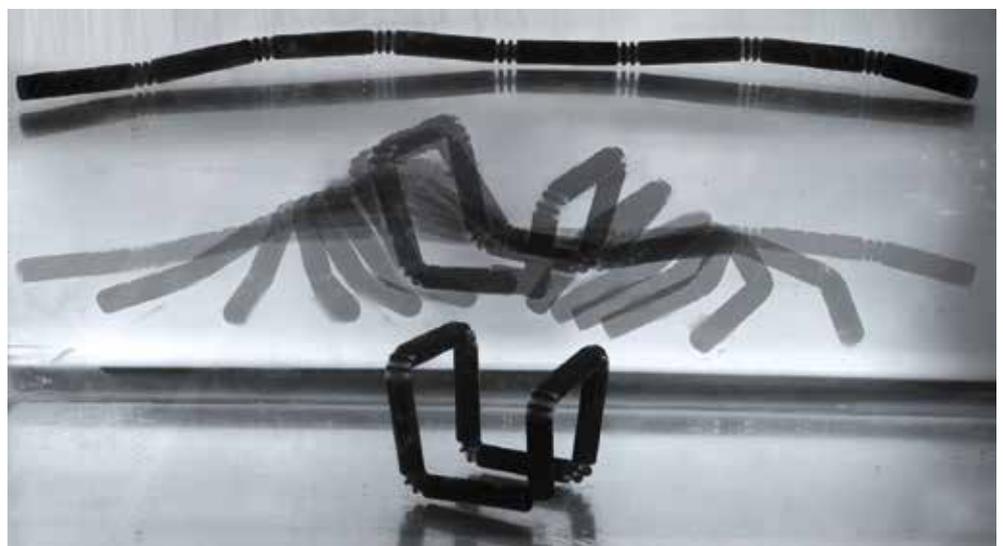
03a Eine flache 2D-Struktur faltet sich selbstständig zu einem Kubus.

03b 4D-Werkstoffe mit unterschiedlicher Zusammensetzung können bestimmte, messbare, organische Formen annehmen – wie diese gedruckten Hydrogel-Verbundstoffe, die bei Berührung mit Wasser ihre Form verändern.

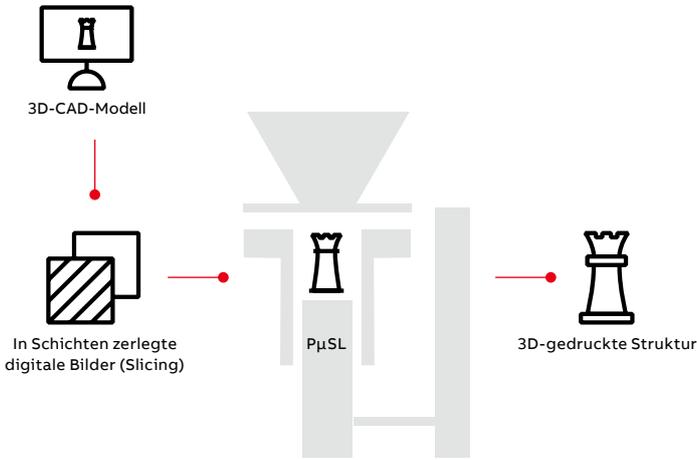
03c Ein 1D-Strang aus Spezialwerkstoff faltet sich selbstständig zu einem 3D-Käfig, wenn er ins Wasser gelegt wird.



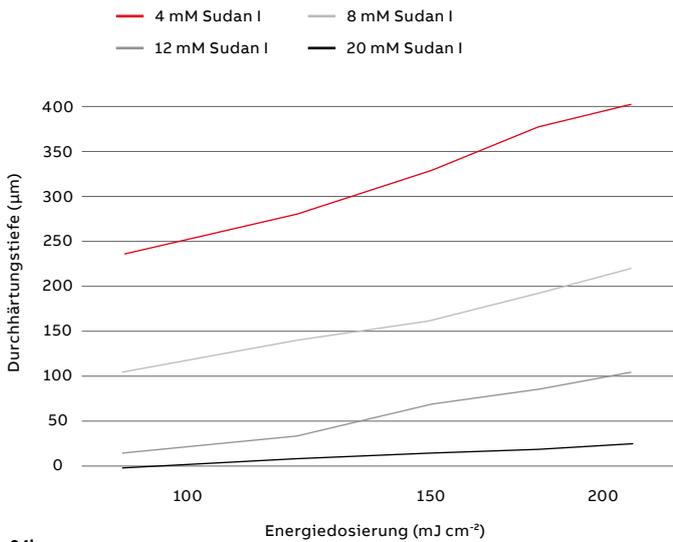
03b



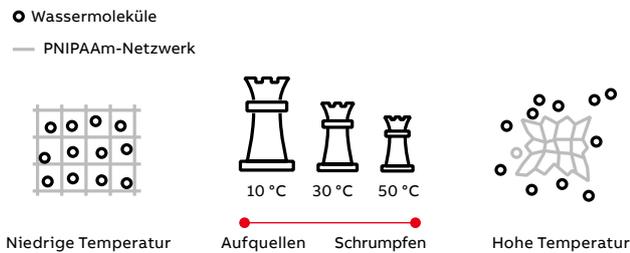
03c



04a



04b



04c

dieser Stoffe. Diese hydrophilen Polymere können große Mengen Wasser aufnehmen, ohne sich aufzulösen, wobei synthetische Varianten aufgrund ihrer langen Lebensdauer und Gelfestigkeit bevorzugt werden [7]. Flüssigkristalline Elastomere sind Polymernetzwerke, die eine vollständig reversible Formänderung mit großer Amplitude durchlaufen können. Sie verbinden die Elastizität von Elastomeren mit der Fähigkeit zur Selbstorganisation und somit der Programmierbarkeit von Flüssigkristallen. Aufgrund dieser Eigenschaften sind diese Werkstoffe besonders im Bereich der Biomedizin, z. B. für künstliches Muskelgewebe und winzige Soft-Roboter, vielversprechend.

**Aktuelle Forschung und Entwicklung**

Zurzeit verzeichnen neben dem MIT noch weitere führende Forschungseinrichtungen wie das Wyss Research Institute for Biomedical Research der Harvard University, die Rutgers University, die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) in Zürich sowie das California Institute of Technology (CIT) phänomenale Fortschritte auf dem Gebiet des 4D-Drucks.

Unter der Leitung von Jennifer Lewis befassen sich Gruppen am Wyss Institute in Harvard mit der

—  
 Heute sind komplexe Formgedächtniswerkstoffe in der Lage, sich einen bestimmten Zustand zu „merken“.

Möglichkeit, die Biologie mithilfe des 4D-Drucks nachzubilden. Dazu untersuchen die Forscher, wie Hydrogel seine Form und Gestalt unter der Einwirkung verschiedener chemischer Auslöser wie z. B. Wasser verändert. Als Tinte verwendet können mit dem Hydrogel Objekte gedruckt werden, die ihre Form ähnlich wie Blumen verändern. Viele Pflanzen verändern ihre Gewebemikrostrukturen und Zusammensetzungen in Abhängigkeit ihrer Umgebung. Um diesen organischen Prozess nachzubilden, entwickelte die Gruppe Hydrogel-Verbundstoffe mit Cellulosefibrillen, die auf ein kontrolliertes Aufquellen programmiert sind. Die daraus 3D-gedruckten blumenförmigen Objekte verändern ihre Form, wenn sie mit Wasser in Berührung kommen, und bilden so die Reaktion von Pflanzenorganen auf Feuchtigkeit, Temperatur oder andere Umwelteinflüsse nach →03b.

—  
04 Verfahren zum Druck von thermoresponsivem Hydrogel mithilfe eines an der Rutgers University entwickelten Prozesses [8].

04a Schematische Darstellung des PμSL-Druckverfahrens auf der Basis von UV-Licht.

04b Ergebnisse einer Untersuchung der Durchhärtungstiefe.

04c Veranschaulichung des temperaturabhängigen Aufquellens des Hydrogels.

Andere Gruppen verwenden Hydrogele, die auf physikalische Auslöser, z. B. Temperatur, reagieren. An der Rutgers University haben Wissenschaftler mithilfe eines lithografiebasierten Verfahrens, der sogenannten Projection Micro-Stereolithography (PμSL), winzige dreidimensionale Objekte aus temperaturabhängigen, formverändernden Gelen gedruckt. Solche 4D-gedruckten Strukturen können z. B. zur Entwicklung von Dämpfungselementen für Soft-Roboter oder zur gezielten Medikamentenabgabe genutzt werden →04 [8].

Im Jet Propulsion Laboratory der NASA am CIT befassen sich Forscher mit speziellen Metallgeweben, der sogenannten „Weltraum-Panzerung“. Das wie ein Kettenhemd anmutende Gewebe besitzt vier bedeutende Eigenschaften: Es ist reflektiv, faltbar, zugfest und ermöglicht ein passives Wärmemanagement. Eine Seite des Gewebes reflektiert das Licht, während die andere Seite Licht absorbiert, womit es zur Temperaturbeeinflussung genutzt werden kann. Das Gewebe lässt sich auf verschiedene Weise falten und passt sich ohne negative Kräfteinwirkungen verschiedenen Formen an. Die Fähigkeit, neue Funktionen in das Material hineinzuprogrammieren, eröffnet nahezu unendliche Möglichkeiten. So könnten diese Materialien eines Tages zum Bau großer Antennen im Weltraum, zur Herstellung von Schutzanzügen für Astronauten oder als Schutzschild gegen Meteoriten genutzt werden [9].

An der ETH Zürich haben Kristina Shea und Tian Chen mithilfe eines Druckers vom Typ Stratasys Connex3 Objet500 Objekte aus Formgedächtnispolymeren, einem temperaturbeständigen, starren Kunststoff und einem elastomerartigen Material hergestellt. Die als flache 2D-Strukturen gedruckten Objekte entfalten sich in warmem Wasser zu tragfähigen 3D-Formen. Die Möglichkeit, die Tragfähigkeit mit der Zeit zu verändern, könnte besonders in den Bereichen Weltraumforschung, Architektur, Bauwesen und der Automobilindustrie interessant sein [10,11].

### Herausforderungen und Einschränkungen

Trotz der Fortschritte auf dem Gebiet des 4D-Drucks gibt es noch bestimmte Herausforderungen und Einschränkungen zu bewältigen, bevor der 4D-Druck die Forschungslabore verlassen kann. Dazu gehören Aspekte wie physikalische Trägheit, Werkstoffe, Langlebigkeit, zusammenhängende Abhängigkeiten und Kosten. Zurzeit dauert es zwischen einigen Millisekunden und Sekunden, bis der Veränderungsprozess abgeschlossen ist, da große Moleküle bei der Neuordnung bestimmte Distanzen zurücklegen müssen. Diese Zeitspanne

kann je nach Anwendung angemessen, zu langsam oder zu schnell sein (für Baumaterialien wäre der Vorgang z. B. genau richtig). Darüber hinaus setzen sich Werkstoffe, die auf äußere Reize reagieren,

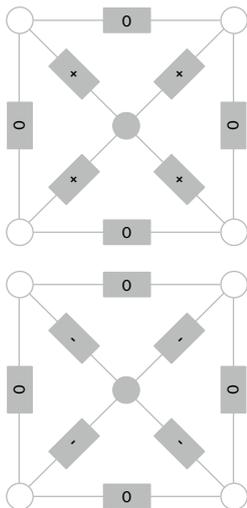
—  
**Die Fähigkeit, neue Funktionen in das Material hineinzuprogrammieren, eröffnet viele Möglichkeiten.**

typischerweise aus einer begrenzten Auswahl von Polymeren zusammen, womit die möglichen Auslöser auf bestimmte Umgebungsbedingungen (z. B. Wärme, Druck, Chemikalien usw.) beschränkt sind. Um die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit von intelligenten Werkstoffen zu verbessern, könnten Verbundstoffe eingesetzt werden, die metallische oder keramische Komponenten enthalten. Und da die strukturelle Veränderung und ihre Dauer von mehreren Faktoren abhängen, können unterschiedliche Umgebungsbedingungen zu unterschiedlichen Reaktionszeiten führen, was problematisch sein kann. Der 4D-Druck ist zurzeit zwar noch in kapitalkräftigen Nischen wie der Medizin, dem Militär und dem Luxusgüterbereich verankert, wird sich aber in Zukunft auch in Mainstream-Bereichen etablieren.

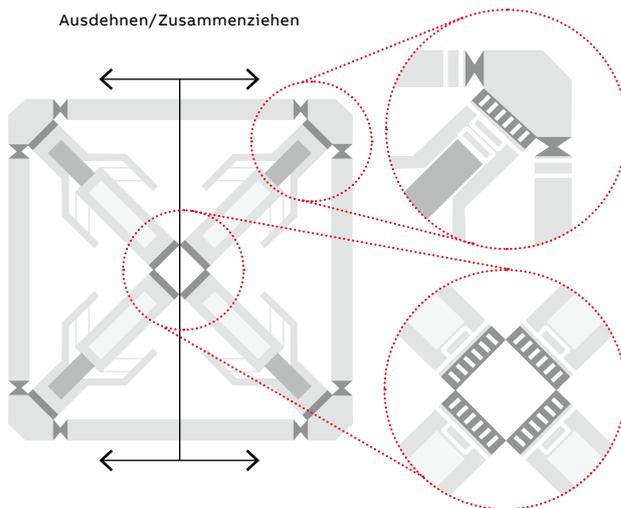
### Die Zukunft ist 4D

Auch wenn sich seine Nutzung momentan fast ausschließlich auf die Forschung und Entwicklung beschränkt, ist zu erwarten, dass die vielversprechenden Vorteile dem 4D-Druck in den nächsten zehn Jahren erheblichen Antrieb verleihen werden. Das Gesundheitswesen, die Luft- und Raumfahrt sowie die Rüstungs- und Automobilindustrie beginnen bereits damit, die neuen Möglichkeiten zu nutzen.

Allerdings gibt es noch eine ganze Reihe von Produktdesignmöglichkeiten und zusätzlichen Funktionalitäten zu erforschen. So könnten z. B. Produkte mit integrierten 4D-gedruckten Verbindungen realisiert werden, die das Zerlegen vereinfachen und so die Wiederverwendung (bzw. das Recycling) von Komponenten fördern. Und wenn es darum geht, umfassendere Umweltaforderungen zu erfüllen, ist eine breitere Palette von geeigneten Werkstoffen und Verbundstoffen erforderlich. Außerdem sollten weitere Anstrengungen unternommen werden, um die Stabilität von 4D-gedruckten Objekten zu verbessern

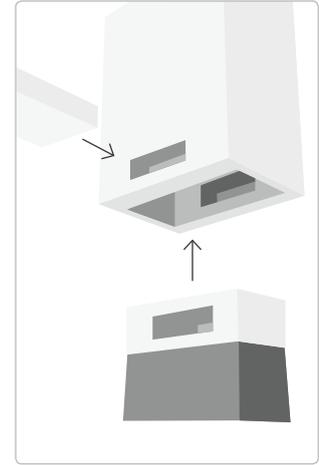


Flach,  $T = T_1$

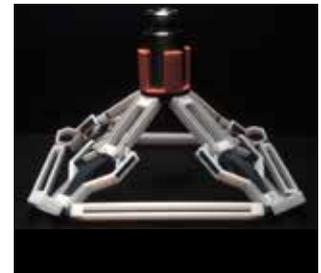


Entfaltet,  $T = T_2$

50 g,  $T = T_2$



200 g,  $T = T_1$



05

05 Durch Kombination eines Formgedächtnispolymers (FLX9895), eines temperaturbeständigen, starren Kunststoffs (RDG525) und eines elastomerartigen Materials (Agilus30) mit einem bistabilen Mechanismus konnten die Forscher zwei verschiedene Gleichgewichtszustände realisieren.

Mithilfe des 4D-Drucks könnten Roboter sich zukünftig überall und jederzeit selbst optimieren, bauen und reparieren.

und den 4D-Druckvorgang zu optimieren. Trotz alledem sollten Unternehmen, die die Vorteile der digitalen Innovation für sich nutzen wollen, bedenken, welches beispiellose Potenzial der 4D-Druck – besonders als Mittel zur Entwicklung beweglicher autonomer Komponenten – bietet. Mit zunehmender Ausdehnung der vierten industriellen Revolution und fortschreitender

Entwicklung intelligenter Werkstoffe gewinnen auch der 4D-Druck und die Robotik zunehmend an Dynamik, und ehe man sich versieht, können nicht nur maßgeschneiderte Roboterarme zur Unterstützung industrieller Prozesse gedruckt werden, sondern Roboter könnten in der Lage sein, sich überall und jederzeit selbst zu optimieren, zu bauen und zu reparieren. •

## Literaturhinweise

- [1] Altair, ABB (2019): „MX3D Robot Arm“. Online verfügbar unter: <https://mx3d.com/projects/robot-arm/>
- [2] S. Tibbets et al.: „4D Printing: multi-material shape change“. *Architectural Design*, Vol. 84, 2014. S. 116–121.
- [3] Wyss Institute at Harvard (2016): „Novel 4D printing method blossoms from botanical inspiration“. Online verfügbar unter: <https://wyss.harvard.edu/news/novel-4d-printing-method/> (Abgerufen am 9.12.2019).
- [4] S. Tibbets et al.: „4D printing and universal transformation“. *Material Agency*, 2014. S. 539–548.
- [5] F. Momeni et al.: „A review of 4D printing“. *Materials and Design*, 2017. S. 42–79.
- [6] Zhou et al.: „Reversible shape-shifting in polymeric materials“. *Journal of Polymer Science & Polymer Physics*, Vol. 54, 2016. S. 1365–1380.
- [7] E. M. Ahmed: „Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review“. *Journal of Advanced Research*, Vol. 6, Issue 2, 2015. S. 105–121. Online verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123213000969>
- [8] D. Han et al.: „Micro 3D Printing of a Temperature-Responsive Hydrogel Using Projection Micro-Stereolithography“. *Scientific Reports* No. 8, 31 Jan. 2018. Online verfügbar unter: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-20385-2>
- [9] NASA Jet Propulsion Laboratory: „Space Fabric links Fashion and Engineering“. *News* 18 April 2017. Online verfügbar unter: <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6816>
- [10] C. Scott (2018): „ETH Zurich Researchers Develop 4D Printed Load-Bearing Polymer Structures“. Online verfügbar unter: <https://3dprint.com/219758/eth-zurich-4d-printed-structures-2/>
- [11] T. Chen, K. Shea: „An Autonomous Programmable Actuator and Shape Reconfigurable Structures Using Bistability and Shape Memory Polymers“. *3D Printing and Additive Manufacturing*, Vol. 5, No. 2, Juni 2018. Online verfügbar unter: <http://doi.org/10.1089/3dp.2017.0118>

## Abonnement

### ABB Review abonnieren

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

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

### Bleiben Sie auf dem Laufenden ...

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



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

## Impressum

### Editorial Board

**Bazmi Husain**  
Chief Technology Officer  
Group R&D and Technology

**Adrienne Williams**  
Senior Sustainability  
Advisor

**Christoph Sieder**  
Head of Corporate  
Communications

**Reiner Schönrock**  
Technology and Innovation

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

### Herausgeber

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

ABB Switzerland Ltd.  
ABB Review  
Segelhofstrasse 1K  
CH-5405 Baden-Dättwil  
Schweiz  
[abb.review@ch.abb.com](mailto:abb.review@ch.abb.com)

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

Herausgeber und  
Copyright ©2020  
ABB Switzerland Ltd.  
Baden, Schweiz

### Druck

Vorarlberger  
Verlagsanstalt GmbH  
6850 Dornbirn, Österreich

### Layout

Publik. Agentur für  
Kommunikation GmbH  
Ludwigshafen, Deutschland

### Satz

Konica Minolta  
Marketing Services  
London WC1V 7PB  
Großbritannien

### Übersetzung

Thore Speck  
24941 Flensburg  
Deutschland

### Haftungsausschluss

Die in dieser Publikation enthaltenen Informationen geben die Sicht der Autoren wieder und dienen ausschließlich zu Informationszwecken. Die wiedergegebenen Informationen können nicht Grundlage für eine praktische Nutzung derselben sein, da in jedem Fall eine professionelle Beratung zu empfehlen ist. Wir weisen darauf hin, dass eine technische oder professionelle Beratung vorliegend nicht beabsichtigt ist.

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

ISSN: 1013-3119

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

### Tablet-Version

Die Produktion der Tablet-Version der ABB Review (für iOS und Android) wurde Ende 2018 eingestellt. Lesern der Tablet-Versionen wird empfohlen, die PDF- oder Webversionen zu nutzen. [abb.com/abbreview](http://abb.com/abbreview)



---

## Vorschau 03/2020 **Rechenzentren**

**Eine Cloud, die immer „on“ ist, verlangt Rechenzentren, die nie „off“ sind. Energie, Zuverlässigkeit und Sicherheit sind dabei entscheidende Faktoren. Die nächste ABB Review zeigt, wie die Synergie aus bewährter physischer Technik und modernster Informatik Unternehmen dabei hilft, ihre Infrastrukturen zu schützen und das Potenzial der Daten und der Digitalisierung zu nutzen.**