

ABB

3 | 14
de

review



Antriebssysteme für Mahlanlagen 25

Eine einheitliche Plattform für Bergbauprozesse 64

Wearable Computing 70

60 Jahre Halbleiterfertigung 84

Die technische
Zeitschrift des
ABB Konzerns



Bergbau

Power and productivity
for a better world™



Die Herausforderungen, denen sich Bergwerke und Bergleute stellen müssen, sind zahlreich. Viele Bergwerke befinden sich an entlegenen Standorten mit extremen klimatischen Bedingungen. Die Ausrüstung muss trotz der rauen und schwierigen Umstände hohe Zuverlässigkeitskriterien erfüllen. Gleichzeitig gilt es, negative Auswirkungen auf die Öffentlichkeit und die Umwelt zu vermeiden. Betriebe müssen ihre Daten im Auge behalten und ihre Prozesse optimieren, um Abfälle zu minimieren und eine höchstmögliche Produktivität zu gewährleisten. In dieser Ausgabe der *ABB Review* lesen Sie, wie ABB Bergbauunternehmen dabei unterstützt, diese Anforderungen zu erfüllen.

Das Titelbild dieses Hefts zeigt die Kupfermine „Esperanza“ in Chile. Das Bild auf dieser Seite (und auf der Seite 5) zeigt die Eisenerz-Pelettieranlage von Gulf Industrial Investment Co. in Bahrain.



Bergbau

- 7 Bergwerk der Zukunft**
Verbesserung der Effizienz und Produktivität im Bergbau durch Zusammenführung von Technologien
- 12 Fortschrittlich fördern**
ABB bietet zuverlässige und nahezu wartungsfreie getriebelose Bandantriebe für hohe Leistungs- und Drehmomentanforderungen
- 18 Die dritte Dimension**
3-D-Wicklungsdesign für getriebelose Mühlenantriebe
- 25 Größer ist besser**
Antriebssysteme von ABB ermöglichen den Einsatz größerer Mühlen im Bergbau
- 31 Industrielle Evolution**
Integration elektrischer Anlagen mit Extended Automation System 800xA und IEC 61850
- 35 Effizientere Betriebsabläufe**
Bessere Zusammenarbeit im Bergbau durch Extended Automation System 800xA
- 37 Nahtlose Kommunikation**
Private drahtlose Feldautomatisierungsnetzwerke von ABB unterstützen das Flottenmanagement im Tagebau
- 42 Förderprogramm**
Schachtförderanlagen von ABB
- 47 Neue Wege in der Instandhaltung**
Fortschrittliche Servicelösungen für den Bergbau und die Mineralaufbereitung
- 52 Gehobene Regelung**
MPC und ihre Implementierung mit ABB Extended Automation System 800xA
- 60 Der Sprung nach vorn**
Vom Nachzügler zum Spitzenreiter: Einsatz von IT im Bergbau
- 64 Eine für alle**
Ein einheitliches Plattformkonzept hilft, die Komplexitäten heutiger Bergbauprozesse zu bewältigen

Barrieren überwinden

- 70 Moderne Cyborgs**
Science-Fiction-Technik hält Einzug in die Industrie
- 76 Saubere Luft im Hafen**
Steuerliche Anreize können die Luftqualität in Häfen verbessern
- 80 Verbrauchernahe Strommessung**
Ein neues Strommesssystem auf der Basis von Modbus

Pionier- leistungen

- 84 Halbleitergenerationen**
Rückblick auf 60 Jahre Halbleiterentwicklung bei ABB

Im Blickpunkt: Bergbau



Claes Ryttoft

Liebe Leserin, lieber Leser,

Die *ABB Review* befasst sich regelmäßig mit industriellen Prozessen und damit, wie ABB dabei hilft, sie zu unterstützen, zu steuern und anzutreiben. Wie es sich für eine technische Zeitschrift gehört, stehen dabei in erster Linie die technischen Aspekte im Vordergrund. Dabei sollten wir nicht vergessen, dass solche Prozesse keinen Sinn hätten, wenn am Ende kein verbessertes Produkt herauskäme – was wiederum bedeutet, dass am anderen Ende Rohprodukte zugeführt werden müssen.

Zwar werden nicht alle dieser Rohstoffe bergmännisch abgebaut, doch die Wichtigkeit des Bergbaus wird deutlich, wenn man bedenkt, dass es kaum einen von Menschenhand hergestellten Gegenstand gibt, der keine abgebauten Materialien enthält bzw. ohne Hilfsmittel hergestellt wurde, in denen sie enthalten sind.

Einer der Gründe, warum der Bergbau so leicht übersehen und unterschätzt wird, liegt in der Tatsache, dass er größtenteils an entlegenen Standorten stattfindet – sei es unterirdisch oder in dünn besiedelten Wüsten- oder Bergregionen. Die Lage dieser Standorte stellt die Ausrüstung nicht selten vor besondere Herausforderungen: Sie muss unter extremen (sowohl klimatischen als auch betrieblichen) Bedingungen funktionieren und gleichzeitig ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit bei minimalem Eingriff gewährleisten. Ein Bereich, in dem ABB einen wichtigen Beitrag hierzu leistet, sind große Antriebssysteme, z. B. für Schachtförderanlagen, Brechwerke und Lüftungen.

Eine zentrale Komponente bei der Vermeidung von Abfällen und Steigerung der Rentabilität liegt in der Fähigkeit des Bedienpersonals, Entscheidungen auf der Grundlage genauer und verwertbarer Informationen zu

treffen. Hier kann ABB ihr umfangreiches Know-how auf dem Gebiet der industriellen Leittechnik und der drahtlosen Kommunikation auf den Bergbau übertragen und z. B. die Zusammenführung wichtiger Informationen in der Leitwarte ermöglichen.

Diese Aspekte werden in 12 bergbaubezogenen Artikeln in dieser Ausgabe der *ABB Review* näher beleuchtet.

Darüber hinaus befassen wir uns mit Entwicklungen im Bereich des Wearable Computings, der Verbesserung der Luftqualität in Häfen und einem neuen Strommesssystem. Und wir setzen unsere Jubiläumsreihe fort und blicken zurück auf 60 Jahre Halbleiterfertigung bei ABB (sowohl ASEA als auch BBC begannen ihre Halbleiteraktivitäten im Jahr 1954).

Wussten Sie, dass die *ABB Review* neben der gedruckten Ausgabe auch elektronisch erhältlich ist? Sowohl eine klassische PDF-Version als auch eine interaktive Version für Tablets und Smartphones stehen zum Download zur Verfügung. Näheres hierzu erfahren Sie auf der hinteren Umschlaginnenseite dieses Hefts.

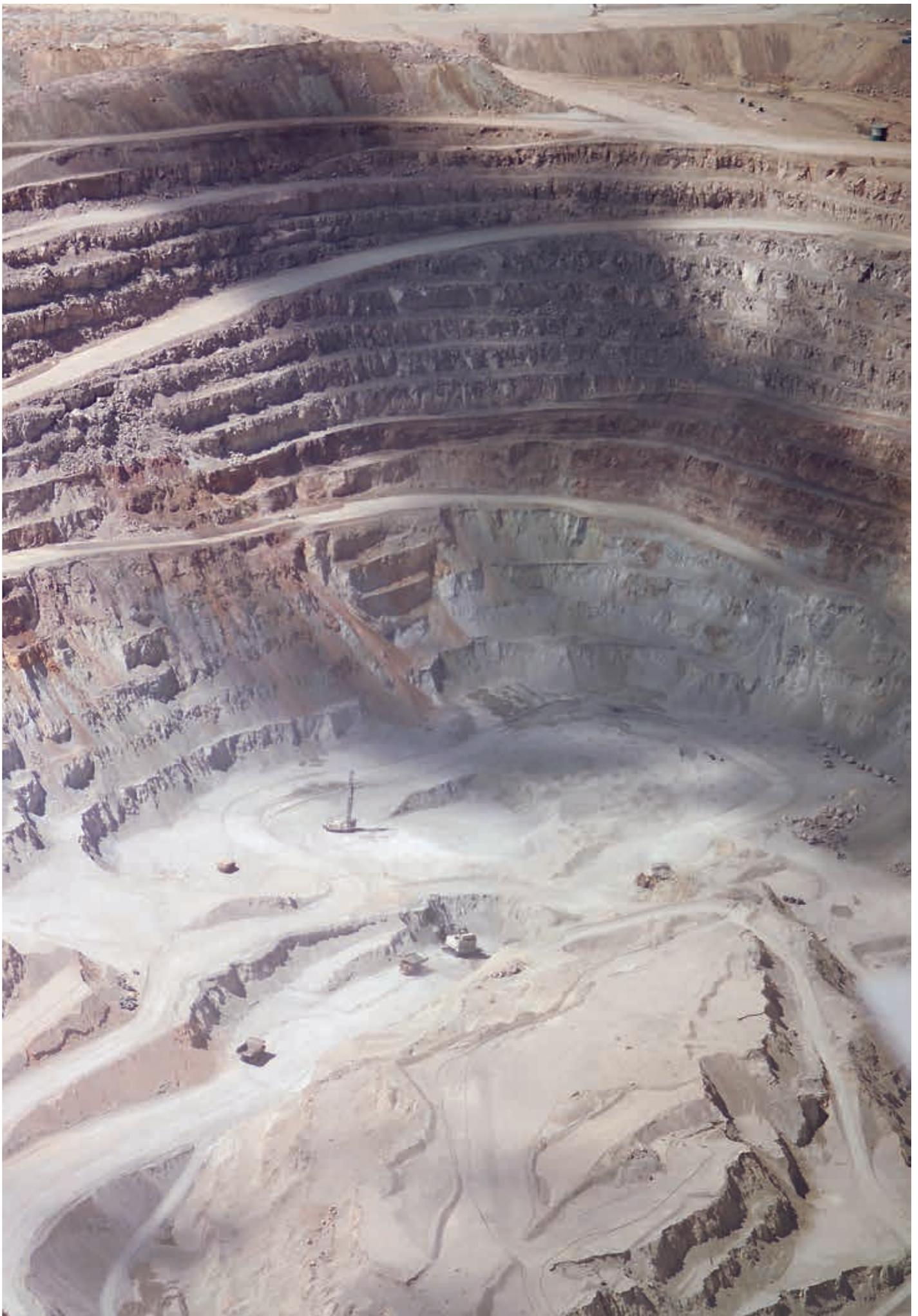
Ich hoffe, diese Ausgabe der *ABB Review* gibt Ihnen einen Einblick in einige der Themen, die Bergwerke und Bergleute beschäftigen, und zeigt, wie ABB dabei hilft, die Branche zu unterstützen und voranzubringen.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Claes Ryttoft
Chief Technology Officer &
Group Senior Vice President
ABB Group







Bergwerk der Zukunft

Verbesserung der Effizienz und Produktivität im Bergbau durch Zusammenführung von Technologien

EDUARDO GALLESTEY, CLIVE COLBERT – „Aus den Augen, aus dem Sinn“ ist ein Sprichwort, das für die Bergbauindustrie wie gemacht scheint. Bergwerke befinden sich häufig in entlegenen Gebieten und unter der Erde, sodass sie nur für wenige Menschen sichtbar sind. Dennoch kommen wir tagtäglich mit den Metallen und Mineralen in Berührung, die dort abgebaut werden. Angefangen vom einfachen Besteck bis hin zu Hightech-Telefonen gibt es nur wenig, was keine bergmännisch gewonnenen Produkte enthält – ganz zu schweigen von den Brennstoffen, die unsere Welt antreiben. Trotz dieser Verbreitung und der Jahrtausende alten Geschichte liegt der Bergbau technologisch hinter anderen Branchen wie der Öl- und Gasindustrie zurück. Doch die Branche steht vor einem radikalen technologischen Wandel, der durch die Integration von Information und Ausrüstung – vom Abbau bis zur Fabrik – in eine kohärente, erweiterte Automatisierungsplattform ermöglicht wird.

Titelbild

Die Zukunft des Bergbaus liegt in der vollständigen Integration von Daten und Ausrüstung. Schon heute gibt es Systeme, die diesen Wandel erleichtern. Einer der vielen Vorteile wird die Möglichkeit sein, Bergwerke in entlegenen Regionen aus der Ferne zu steuern.

Obwohl die Nachfrage nach Rohstoffen langfristig steigt, steht die Bergbauindustrie vor einer ganzen Reihe einzigartiger Herausforderungen: Wettbewerbsdruck zwingt Betreiber dazu, neue Möglichkeiten zu finden, um die Produktionsleistung zu steigern, die Kosten pro Tonne gefördertem Material zu reduzieren und die Lebensdauer ihrer Bergwerke zu verlängern bzw. neue zu erschließen. Auch die Produktivität von Mensch und Maschinen muss erhöht werden, während schwache Rohstoffgrundpreise, steigende Produktionskosten und starke Preisschwankungen (zum Teil verursacht durch Lieferunterbrechungen, angespannte Märkte und neue Preisbildungssysteme) Bergbauunternehmen gleichzeitig dazu zwingen, ihre Investitionsausgaben zu reduzieren → 1-2. Tatsächlich wird die Verbesserung der Produktivität zunehmend zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor, der in finanzielle Prognosemodelle eingebunden wird.

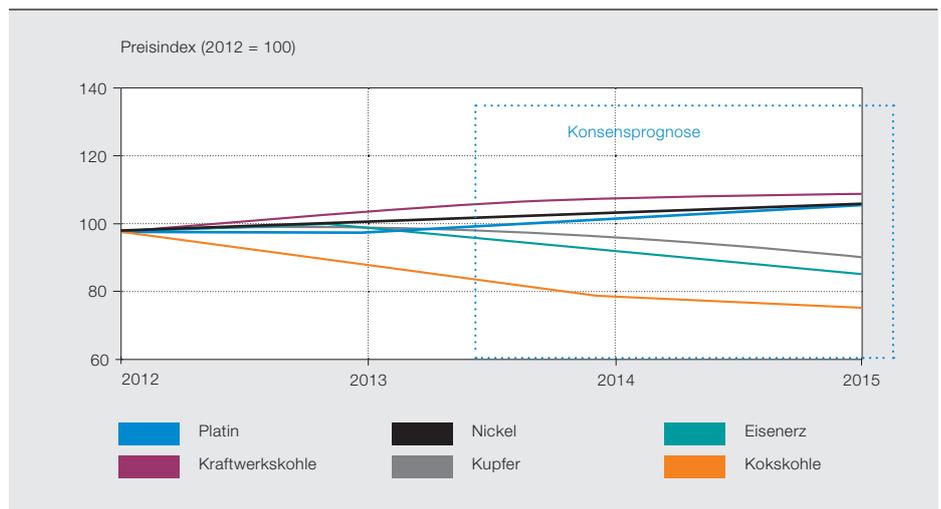
Steigende Energiekosten verlangen, dass all dies von einem reduzierten Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß begleitet wird. Außerdem müssen sich Bergwerksbetreiber mit immer entlegeneren und schwerer zugänglichen Erzkörpern und schwindenden hochwertigen Lagerstätten auseinandersetzen. Gleichzeitig gilt es, die Arbeitssicherheit zu erhöhen und Unfallzahlen zu senken. Zwar ist der Bergbau im Laufe der Jahre viel sicherer geworden, doch die Zahl der Unfälle und Todesfälle ist noch immer nicht akzeptabel.

Trotz langfristig steigender Nachfrage nach Rohstoffen steht die Bergbauindustrie vor einer ganzen Reihe von Herausforderungen. Die Lösung dafür – und für die Zukunft des Bergbaus – liegt in der Automatisierung und Integration.

Hinzu kommt das Problem einer alternden Belegschaft. Wie in anderen Branchen verändert sich das Altersprofil im Bergbau, und viele Bergleute nehmen wertvolles Know-how und Erfahrung mit in den

Der Schlüssel zur Zukunft des Bergbaus liegt in der vollständigen Integration. Mit einer modernen Automatisierungsplattform wie System 800xA lässt sich ein kompletter Bergwerksbetrieb steuern.

1 Die schwache Entwicklung der Rohstoffpreise in den letzten Jahren macht Produktivitätsverbesserungen umso dringlicher.



Ruhestand. Die entlegene und unwirtliche Lage vieler Gruben macht es zusätzlich schwer, Experten und kompetente Mitarbeiter zu gewinnen und zu halten.

Die Lösung für all diese Herausforderungen und die Zukunft des Bergbaus liegt in der Automatisierung und Integration von Informationen und der Nutzung dieses Wissens zur Optimierung der Bergbauprozesse in Echtzeit.

Eine integrierte Sicht

Automatisierung ist im Bergbau nichts Neues. Doch die Automatisierung, wie sie bisher in Bergwerken eingesetzt wird, ist im Allgemeinen viel einfacher als in anderen Industrien und beschränkt sich häufig auf die simple Steuerung von Motoren, Betriebsmitteln oder bestimmten Prozessteilen.

Hinzu kommt, dass in Bergwerken häufig eine große Zahl unabhängiger Geräte und Systeme von unterschiedlichen Lieferanten zum Einsatz kommt. Nicht selten hat jede dieser „Automatisierungsinself“ ihre eigenen Daten, Datenformate und Schnittstellen, sodass das Bedien- und Leitpersonal eine Vielzahl von konzeptionell unterschiedlichen Bildschirmen im Auge behalten muss, um verschiedene Teile des Prozesses zu koordinieren.

Der Schlüssel zur Zukunft des Bergbaus liegt folglich in der vollständigen Integration der Daten und Arbeitsabläufe. Mithilfe einer modernen Automatisierungsplattform wie Extended Automation System 800xA von ABB lässt sich ein kompletter Bergwerksbetrieb steuern, denn die Sys-

tem 800xA-Plattform ist in der Lage, traditionelle Prozesssteuerungen, verteilte Prozessleitsysteme (PLS), Sicherheitssysteme und elektrische Betriebsmittel wie Motoren und Antriebe sowie Produktionsplanungs-, Energiemanagement-, Instandhaltungs-, Asset-Management-, Ressourcenplanungs- und Dokumentationssysteme in eine einzige Prozessleitumgebung zu integrieren. Zudem können verschiedene Benutzer, Live-Video, Sprach- und Rufsysteme sowie Webanwendungen und -geräte integriert werden. Neben Produkten von ABB können auch Drittanbieterprodukte in den Prozessworkflow eingebunden werden.

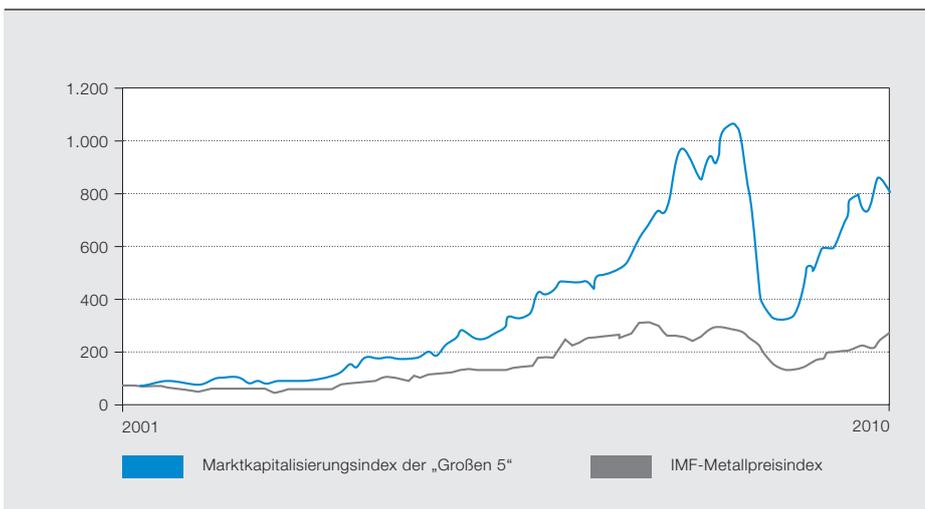
Diese Konvergenz sorgt dafür, dass immer mehr Informationen von Echtzeitsystemen in Software überführt werden, was wiederum vier Schlüsselbereiche zur Steigerung der Effizienz, Reaktionsfähigkeit und Rentabilität entlang der Wertschöpfungskette im Bergbau bereichert:

- Intelligente Produktion und höhere Produktivität von Menschen und Maschinen
- Intelligente Reaktion auf kritische Betriebsmittelzustände
- Bedarfsorientierte Planung
- Reduzierung des Energieverbrauchs und Abfalls

Intelligente Produktion

Die Integration von Daten kann dabei helfen, die Produktionseffizienz und Produktivität drastisch zu verbessern → 3. Einige Beispiele hierfür sollen im Folgenden beschrieben werden.

2 Angesichts hoher Preisschwankungen ist eine detaillierte Sicht auf den gesamten Bergbauprozess vom Abbau bis zum Endkunden umso wichtiger.



Der größte Unsicherheitsfaktor bei der Erzaufbereitung sind die Erzeigenschaften. Werden diese vorab quantifiziert, können Anlagen schneller auf Schwankungen reagieren.

Prozessoptimierung anhand der Erzeigenschaften

Der größte Unsicherheitsfaktor bei der Erzaufbereitung sind die Erzeigenschaften. Werden diese vorab quantifiziert, können Anlagen schneller auf Schwankungen reagieren. Die erweiterte Automatisierung macht dies möglich, da Materialbewegungen und Erzgehalte vom Bergwerk bis zur Aufbereitungsanlage verfolgt werden.

Zudem können diese Informationen von Prozessoptimierungs-Controllern genutzt werden, um entsprechende vorausschauende Anpassungen am Mahl- und Flotationskreislauf vorzunehmen. Das Ergebnis ist eine bessere Nutzung der Betriebsmittel, eine höhere Ausbeute und ein niedrigerer Energieverbrauch.

Optimierung der Produktionsziele anhand der Marktbedingungen

Zwar nutzen bereits einige Bergwerksbetreiber gehobene Prozessregelungslösungen (APC) für das Management ihrer Aufbereitungsprozesse (Mahlen und/oder Flotation) in Echtzeit, doch die meisten sind nicht in der Lage, dies in Echtzeit mit den Bedingungen auf dem Markt abzugleichen. Zum Beispiel sind sie nicht in der Lage, Informationen über relative Produktpreise, Erzdaten und Informationen aus Verkaufsverträgen zu kontextualisieren, da diese Informationen in völlig unterschiedlichen Systemen und Bereichen weit weg vom Leitwartenpersonal gespeichert sind.

Das Zusammenwachsen von Business-IT- und Prozessleitsystemen ermöglicht es APC-Systemen, die Prozessollwerte so anzupassen, dass auf der Basis von

Informationen aus dem Vertrieb und dem globalen Preisindex ein maximaler finanzieller Ertrag für den aktuellen Einsatzstoff und die aktuellen Produktpreise erreicht wird.

Optimales Just-in-time-Prozessmanagement durch drahtlose Kommunikation

Ein weiteres Mittel zur Steigerung der Produktionseffizienz ist die Integration der Untertagekommunikation. Ist erst einmal eine Kommunikationsstruktur unter Tage eingerichtet und die mobile und feste Ausrüstung computerisiert, eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten des Datenaustauschs. Zum Beispiel:

- Die von der mobilen Ausrüstung gemeldeten Ergebnisse wie Online-Produktionsstatus und Produktionsberichte, Analysen und Statistiken können abgerufen werden. Außerdem können der Standort und der Status der mobilen Ausrüstung einschließlich ihrer lokalen Umgebungsdaten online überwacht werden.
- Mit diesen Informationen können neue Bohrpläne und Ladefolgen für die Produktionsmaschinen berechnet und zeitnah zur Ausführung an die Betriebsmannschaften unter Tage übermittelt werden.

ABB und das schwedische Unternehmen Atlas Copco Underground Rock Excavation haben ein innovatives System zur Integration mobiler Ausrüstung unter Verwendung der ABB-Automatisierungsplattform System 800xA und Bergbaumaschinen von Atlas Copco entwickelt. Die Lösung ist zurzeit in einem Bergwerk in Kvarntorp (Schweden) installiert. Die

Ein modernes Asset-Optimierungssystem kann Bergwerken dabei helfen, von einer reaktiven zu einer prädiktiven Instandhaltung zu wechseln, um unnötige Maßnahmen zu vermeiden und Kosten zu senken.

3 Eine effektive Integration von Daten aus dem gesamten Unternehmen ist eine wichtige Voraussetzung zur Steigerung der Effizienz und Produktivität.



Technik verspricht Bergwerksbetreibern einzigartige Prozesssteuerungsmöglichkeiten und Informationen.

Auch für die Verfolgung von Betriebsmitteln (sog. Assets) ist die Kommunikationsinfrastruktur von unschätzbarem Wert.

Intelligente Reaktion auf Betriebsmittelzustände in Echtzeit

Der Ausfall eines kritischen Produktionsmittels kann katastrophale Auswirkungen auf die Produktionsziele haben. So können sich die Verluste, die durch den Ausfall eines Hauptförderbands entstehen, auf mehrere Hunderttausend US-Dollar in der Stunde belaufen.

Ein modernes Asset-Optimierungssystem kann Bergwerken dabei helfen, von einer reaktiven zu einer prädiktiven, d. h. vorausschauenden Instandhaltungsstrategie zu wechseln, um unnötige Instandhaltungsmaßnahmen zu vermeiden und die Betriebskosten zu senken. Erweiterte Automatisierungslösungen wie System 800xA können moderne Instandhaltungssysteme von Anbietern wie IBM, SAP oder Ventyx integrieren. So können Echtzeitdaten von Betriebsmittelzuständen genutzt werden, um die Effektivität der Instandhaltung zu optimieren und eine zustandsbasierte Überwachung zu ermöglichen.

Im Falle des oben genannten Förderbands würde, sobald ein Asset-Monitor einen ungewöhnlichen Zustand erkennt, ein Alarm ausgegeben, woraufhin das Leitsystem den Antrieb herunterregeln

könnte, um das Ausfallrisiko zu reduzieren. Sind diese Systeme einmal integriert, können sie sich direkt mit den IT-Systemen verbinden und automatisch einen Arbeitsauftrag für die Wartungsmannschaft vor Ort erzeugen. Nachdem die Crew den Abschluss der Arbeiten gemeldet hat, könnte das Leitsystem die Systeme in kürzester Zeit wieder in ihren normalen Betriebszustand versetzen.

Steigerung der Rentabilität durch bedarfsorientierte Planung

Die Lieferkette im Bergbau erstreckt sich vom Abbau der Rohstoffe über den Produkttransport bis hin zum Endkunden. Um ihre Produktions- und Produktivitätsziele zu erreichen, müssen Bergbauunternehmen über alle Prozesse der Lieferkette hinweg eine hohe betriebliche Leistungsfähigkeit und Effizienz sicherstellen. Eine bessere Integration und Automatisierung vom Betrieb der Aufbereitungsanlagen über die Bergwerksplanung bis hin zur Instandhaltung und dem Management von Assets sorgt dafür, dass das richtige Produkt zur richtigen Zeit zur Verfügung steht. Außerdem wird sichergestellt, dass Kundenaufträge nur dann angenommen werden, wenn die Lieferkette sie auch erfüllen kann, was wiederum die Verhandlungsposition stärkt und das Risikomanagement verbessert. Außerdem sorgt diese vereinheitlichte Sicht dafür, dass Instandhaltungsmaßnahmen so geplant werden können, dass Produktionspläne möglichst wenig beeinträchtigt werden und die erforderliche Verfügbarkeit gewährleistet bleibt.

4 Mobile Darstellung von System 800xA zur Verbesserung der Überwachung, Steuerung und Instandhaltung in der Aitik-Kupfermine von Boliden in Nordschweden



Reduzierung des Energieverbrauchs durch Integration von Betriebsmittelstandorten und Prozessanforderungen

Eine Steigerung der Energieeffizienz kann nicht nur durch Verbesserung der Bergbauprozesse und -technologien, sondern auch durch eine bessere Transparenz und Kontrolle der Prozesse entlang der Wertschöpfungskette durch Informationsintegration und Prozessoptimierung erreicht werden.

Bis zu 50 % der gesamten Energie unter Tage können von der Belüftung benötigt werden. ABB hat eine neue, einzigartige

giebedarfs zur Nutzung von Schwachlastenergie, durch Modellierung von Wärme-wenn-Szenarien für energieintensive Produktionsschritte und durch bessere Einblicke in das Energieprofil einer Betriebsstätte.

Realisierung der Vision durch Remote Operation Centers

Bergwerke der Zukunft werden von entfernten Leitzentralen aus betrieben. Daten aus allen Teilen des Betriebs werden dort zusammenfließen, um ein präzises Management des Bergbaubetriebs vom Abbau bis zum Endkunden zu ermöglichen und die Optimierung von Ressourcen und der Produktion über mehrere Standorte hinweg zu unterstützen. Ein relativ einfaches Beispiel für das Zusammenwachsen von Bergwerk und Fabrik gibt es bereits in einem integrierten

Eine bessere Integration und Automatisierung über den gesamten Betrieb hinweg sorgt dafür, dass das richtige Produkt zur richtigen Zeit zur Verfügung steht.

Methode zur grubenweiten koordinierten Regelung von Lüftern und Luftdrosseln entwickelt. Damit lässt sich eine energieoptimierte und zuverlässige Lösung realisieren, die die Luft automatisch dorthin speist, wo sie benötigt wird.

Die Zusammenführung von Informationen kann auf vielfältige Weise dabei helfen, den Energiebedarf im Bergbau zu reduzieren – z. B. durch Vorhersage des Ener-

gieerzeugungs- und Kohlebergbauunternehmen in Europa: Wenn die Lagerbestände in der Anlage zur Neige gehen, wird eine automatische Nachricht an das vollautomatisierte Bergwerk gesendet, das die erforderliche Kohle für das Kraftwerk automatisch abbaut und abmischt. Vollständig automatisiert und optimiert durch eine zentrale Leitwarte stellt dies das ultimative Ziel zukünftiger Bergbauprojekte dar.

Bergbau in der Zukunft

Das Engagement von ABB im Bergbau beinhaltet ein Forschungsprogramm, das alle relevanten Themen, angefangen von Sensoren über die Modellierung und Visualisierung bis hin zur Optimierung, umfasst. Ein weiteres Merkmal eines ganzheitlichen Ansatzes für den Bergbaubetrieb sind intelligente Geräte und Ausrüstung, die für eine autonome Konfiguration, eine effiziente Bedienung und Selbstdiagnose ausgelegt sind, sowie Software, die den Bedienern eine umfassende Transparenz in Echtzeit bietet → 4. Dies ermöglicht eine vollständige Sicht auf die Ressourcen des gesamten Bergwerks, eine intelligente, echtzeitnahe Produktion auf der Grundlage des aktuellen Bedarfs, der Marktbedingungen und der verfügbaren Erztypen sowie eine optimale Reaktion auf kritische Betriebsmittelzustände.

ABB ist überzeugt, dass Bergbauunternehmen durch vollständige Nutzung der Möglichkeiten der erweiterten Automatisierung und durch Zusammenfassen von Menschen, Maschinen und Systemen in eine vollständig integrierte Umgebung ihre Produktivität, Mitarbeiterzufriedenheit und Sicherheit erheblich steigern können. Dabei hat die Reise der Bergbauindustrie in die Welt der Automatisierung gerade erst begonnen.

Eduardo Gallestey

Clive Colbert

ABB Schweiz AG

Baden-Dättwil, Schweiz

eduardo.gallestey@ch.abb.com

clive.colbert@ch.abb.com



Fortschrittlich fördern

ABB bietet zuverlässige und nahezu wartungsfreie getriebelose Bandantriebe für hohe Leistungs- und Drehmomentanforderungen

MARCELO PERRUCCI – Mit der zunehmenden Verlagerung des Bergbaus in immer entlegene Regionen mit spärlicher Infrastruktur nimmt auch die Entfernung zwischen dem Bergwerk und den Aufbereitungsanlagen zu. Das Erz muss (manchmal auch unterirdisch) über größere Entfernungen transportiert werden, was Bandförderanlagen vor neue Anforderungen stellt. Mitunter müssen mehrere Dutzend Kilometer überbrückt und große Steigungen überwunden werden. Gleichzeitig ist eine höhere Transportkapazität gefordert. Um die Zuverlässigkeit zu erhöhen, soll die Zahl der Übergabestellen zwischen den Band-

förderern so klein wie möglich sein. Dies wiederum erfordert breitere und längere Bänder und somit die Übertragung höherer Drehmomente auf die Trommelwellen. Bei herkömmlichen Lösungen sind die Leistung und das Drehmoment durch das Getriebe beschränkt. Zusammen mit dem Marktführer TAKRAF GmbH hat ABB Bandförder-systeme entwickelt, die diesen hohen Anforderungen gerecht werden und gleichzeitig wesentlich zuverlässiger sind. Eine solche Anlage wird zurzeit an das Bergbauunternehmen Codelco für das Projekt El Teniente in Chile geliefert.



Das Ziel von ABB und TAKRAF war es, eine langsam laufende Antriebstechnik zu entwickeln, die die Hauptprobleme von Untersetzungsgetrieben beseitigt.

Herkömmliche Kraftübertragungssysteme für Bandfördersysteme unterliegen mehreren Beschränkungen. Erstens sind Untersetzungsgetriebe mit einer Nennleistung von über 3,5 MW kaum realisierbar. Zweitens sind Untersetzungsgetriebe bei hohen Leistungen recht wartungsintensiv. Die Getriebelager, die Schmierpumpe der Dichtung, die Ölkühlung usw. haben mitunter eine MTBF¹ von nur drei bis vier Jahren. Ein Auswechseln der Lager (meist sind die antriebsseitigen Lager defekt) ist dabei mit einer größeren Überholung verbunden.

Fußnote

¹ MTBF = Mean Time Between Failures
(Mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen)

Titelbild

Erze werden über immer längere Strecken transportiert, was Bandfördersysteme vor neue Anforderungen stellt. Das Bild zeigt die Kupfermine El Abra in Chile.

Drittens ist die Lebensdauer eines Untersetzungsgetriebes vergleichsweise kurz (im Durchschnitt ca. 10 Jahre). Bei einer Betriebsdauer eines Bergwerks von 20 Jahren bedeutet dies mindestens einen Getriebeaustausch.

Ein genauer Blick auf den Antriebsstrang eines 6-MW-Bandförderers mit einer herkömmlichen Antriebslösung ergibt mehr als 22 Verschleißteile → 1.

Für eine Nennleistung von 6 MW sind bei einer herkömmlichen Getriebelösung zwei Antriebssysteme erforderlich, die jeweils aus einem Käfigläufermotor, einer Scheibenbremse, Kupplungen und einem Untersetzungsgetriebe mit zahlreichen Komponenten wie Motor- und Getriebelagern, Dichtungen, Zahnrädern sowie einer Ölschmierung mit Kühleinheit bestehen.

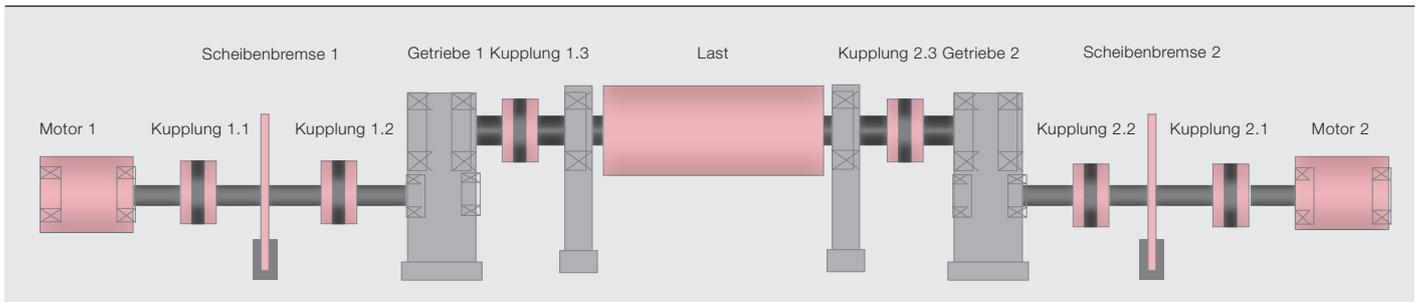
ABB hat den Bedarf an einer effizienteren und zuverlässigeren Lösung erkannt und im Jahr 2011 mit der TAKRAF GmbH, dem führenden OEM auf diesem Gebiet, ein weltweites Abkommen geschlossen. Das Ziel der beiden Partner war es, eine langsam laufende Antriebstechnik zu entwickeln, die die Hauptprobleme von Untersetzungsgetrieben beseitigt.

Verzicht aufs Getriebe

Die Lösung ist ein getriebeloser Bandantrieb (Gearless Conveyor Drive, GCD) für Hochleistungsanwendungen, der vollständig ohne wartungsintensive Getriebe auskommt. Das System besteht aus einem Synchronmotor an einer angepassten Trommelwelle, die speziell für die von der elektrischen Maschine erzeugten hohen Kräfte ausgelegt ist.

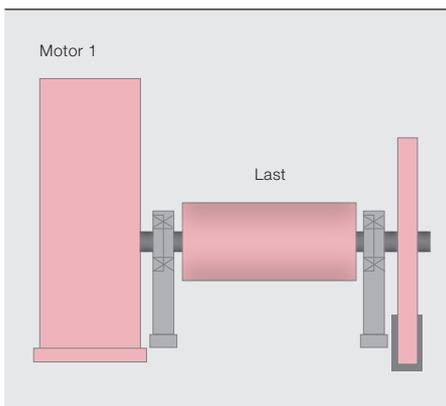
Die Synchronmotoren laufen mit sehr niedriger Drehzahl und werden von einem Frequenzumrichter gespeist, der

1 Getriebe-Antriebssystem mit Asynchronmotoren und Untersetzungsgetrieben (z. B. 2 x 3 MW)



Verschleißteile: > 22, MTBF: 3–4 Jahre (MTBF = Mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen)

2 Getriebeloser Single-Drive mit Synchronmotor (z. B. 1 x 6 MW)



Hauptverschleißteile: 2
MTBF Motor: > 30 Jahre

durch Modulation von Frequenz und Amplitude des Eingangsstroms eine umfassende Steuerung der Anwendung ermöglicht. So stehen alle charakteristischen Vorteile eines Umrichters wie eine ruckfreie Steuerung, ein geregeltes Anlaufmoment bei sehr niedrigen Frequenzen, ein hoher Leistungsfaktor (der auch vorausseilend, nacheilend oder auf 1 geregelt werden kann) und eine Drehzahlregelung zur Verfügung.

Die verwendeten Frequenzumrichter können als Single-Drive, wenn nur ein Motor betrieben werden soll, oder als Multidrive ausgeführt werden, bei dem mehrere

Nur noch maximal zwei Komponenten sind erhöhtem Verschleiß ausgesetzt, und die MTBF beträgt bis zu 30 Jahre.

Die Konfiguration der GCD-Lösung → 2 unterscheidet sich deutlich von der einer herkömmlichen Lösung → 1.

Mit oder ohne Lager?

ABB und TAKRAF entwickelten gemeinsam ein Konzept, mit dem auf motorseitige Lager verzichtet werden kann, was die Verfügbarkeit des Systems im Vergleich zur herkömmlichen GetriebeLösung drastisch erhöht und die Anschaffungs- und Betriebskosten senkt.

Der Antriebsstrang ist so bemessen, dass er den Biegekräften an der Welle selbst bei extremen Betriebsbedingungen wie Erdbeben oder Kurzschlüssen standhält.

Wechselrichtereinheiten mit einem gemeinsamen Gleichspannungs-Zwischenkreis verbunden und die Motoren einzeln gesteuert werden können. Letzteres reduziert den Verkabelungsaufwand und die Installationskosten und ermöglicht den Verzicht auf Komponenten wie einzelne Transformatoren und Leistungsschalter. Zudem können die Umrichter bei bergab laufenden Bandförderern regenerativ, d.h. im Rückspeisebetrieb, genutzt werden.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Lösung ist der Antriebsstrang des GCD-Systems einfach und äußerst langlebig. Die oben genannte Nennleistung von 6 MW kann mit nur einem Antriebssystem mit einem 6-MW-Synchronmotor erreicht werden.

Der gesamte Antriebsstrang ist so bemessen, dass er den Biegekräften an der Welle selbst bei extremen Betriebsbedingungen wie Erdbeben oder Kurzschlüssen standhält. Dem Kunden bietet diese Lösung eine ganze Reihe

von Vorteilen wie einen leichteren und kürzeren Antriebsstrang, geringere Ersatzteilanforderungen und eine einfache Wartung.

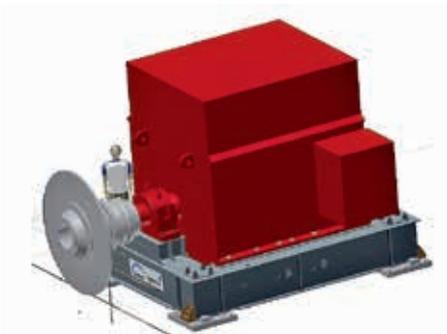
Andererseits bietet die Lösung mit Lagern eine hohe Flexibilität für Anlagen mit bestimmten Installationsbeschränkungen, z. B. wenn sich die Antriebstrommel mehrere Meter über dem Boden befindet und keine Betonsockel verwendet werden können. Hier dienen Lager als Stütze, um eine reibungslose Rotation der Antriebstrommel zu gewährleisten. Außerdem können sie dabei helfen, die Stabilität des Antriebsstrangs zu verbessern und die Notwendigkeit von verstärkten Fundamenten reduzieren. Daher bieten ABB und TAKRAF beide Lösungen an, wobei

3 Lösung mit und ohne Lager im Vergleich

Nachteil	Lagerlösung	Lagerlose Lösung
MTBF	Begrenzte Lebensdauer der Lager	Höher
Zuverlässigkeit	Reduziert aufgrund der Lager und Kupplungen	Höher
Erfordert zusätzliche Überwachung	Ja (für Lager und Kupplung)	Ja (für Luftspalt)
Schmiersystem für Lager	Ja	Nein
Gewicht für Transport	45 t (höhere und niedrigere Nutzlasten möglich)	30 t (höher und niedriger möglich)
Krankkapazität	Höher (nur 1 Teil)	Niedriger (kann in Rotor und Stator aufgeteilt werden)
Kupplung	Ja (flexibel)	Nein
Zusätzliche Ersatzteile	Ja (Lager, Kupplung)	Nein
Antriebsstrang	Länger	Kürzer
Investitions- & Betriebskosten	Höher	Niedriger
ABB/TAKRAF-Lösung verfügbar?	Ja	Ja

Die Elektrifizierung des neuen getriebe-losen Überlandförderers ist Teil einer 550 Mio. USD teuren Erweiterung des Bergwerks El Teniente.

4 Motor-Grundrahmen von TAKRAF



die optimale Wahl vom jeweiligen Kunden und Projekt abhängt → 3.

Das Projekt El Teniente

Im Dezember 2012 erhielt ABB den Auftrag zur Lieferung von elektrischen Anlagen einschließlich des neuen GCD für den größten Betrieb des Kupferproduzenten Codelco in Chile. Auftraggeber ist Tenova TAKRAF in Leipzig als Hauptlieferant für die Bandfördersysteme.

Die Elektrifizierung des neuen getriebe-losen Überlandförderers ist Teil einer 550 Mio. USD teuren Erweiterung des Bergwerks El Teniente ca. 70 km südöstlich von Santiago de Chile.

Projektumfang

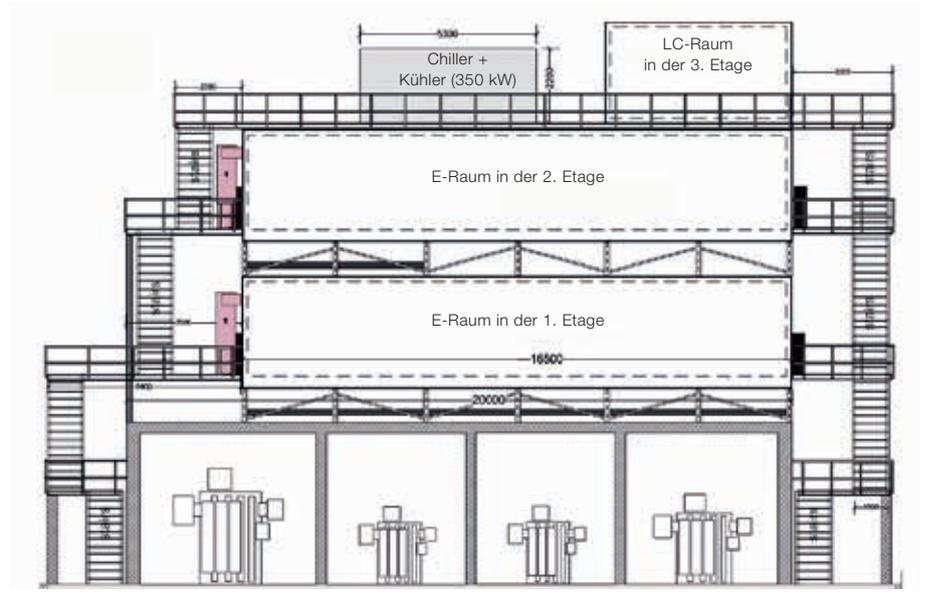
Der Umfang des Projekts El Teniente beschränkt sich nicht auf den Antriebsstrang des GCD, sondern beinhaltet für ABB die gesamte elektrische Ausrüstung,

angefangen von den Endanschlüssen des Schleppkabels zur Mittelspannungsversorgung bis zur Motorwelle einschließlich der gesamten Haupt- und Hilfsausrüstung zur Stromverteilung, Sensoren, kundenspezifischen E-Häusern, Feldinstrumentierung, Kühlanlagen sowie des Steuerungs- und Automatisierungssystems.

Hauptmotoren

Geliefert werden insgesamt 12 Motoren mit je 2,5 MW und 56 U/min. Als Basis für das Motorenkonzept dienen langsam laufende Synchronmotoren, wie sie typischerweise für getriebe-lose Schachtförderanlagen verwendet werden. Außerdem musste der Motor für den Einsatz an Bandförderern angepasst werden. Zum Beispiel wurde eine Möglichkeit benötigt, die eine einfache Nachjustierung des Motors nach Ausrichtung der Antriebs-trommel erlaubt. Dazu ist der Motor auf einem von TAKRAF entwickelten, speziel-

5 Aus Platzgründen mussten die E-Häuser für den Bandförderer CV-01 über den Transformatoren platziert werden.



len Grundrahmen montiert → 4, dessen Konstruktion eine enge Zusammenarbeit zwischen TAKRAF und ABB erforderte.

E-Häuser

Die vier E-Häuser sind vollständig gekapselte und erdbebensichere Container. Jedes E-Haus enthält gasisolierte Mittelspannungs-Schaltanlagen (SX2) mit zwei Einspeisungen. Ebenfalls im Container untergebracht sind Motorsteuerungen, Niederspannungs-Schaltanlagen (von ABB), USV² mit Batterien sowie eine Klimaanlage, SPS³, Kommunikationspanels, Feuermelder und Feuerlöscher. Außerdem ist Platz für die kundeneigenen Anschlusschränke vorgesehen.

Die Container wurden eigens für die anspruchsvollen Bedingungen vor Ort – begrenzter Platz und eingeschränkte Zugänglichkeit auf Felsvorsprüngen, hohe Schneelasten und seismische Anforderungen – konstruiert. Der Bandförderer CV-01 ist z. B. als dreigeschossige Konstruktion auf den Transformatorräumen konzipiert → 5. Andere E-Häuser müssen

für den Transport in bis zu sechs Einheiten geteilt werden.

Steuerungsausrüstung

Jedes E-Haus ist mit redundanten Controllern vom Typ ABB PLC AC800M PM864 ausgestattet. Die Controller dienen

Die Nennleistung von 6 MW kann mit nur einem Antriebssystem erreicht werden.

als Verarbeitungseinheiten für die Hauptantriebe des Bandförderers, die Hilfsantriebe und die Feldgeräte.

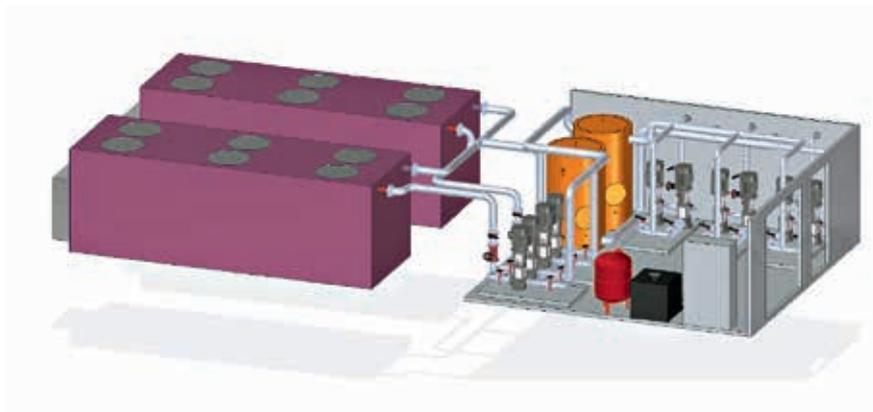
Die Kommunikation erfolgt über ein redundantes Netzwerk auf der Basis von Ethernet MMS, Ethernet Modbus TCP und PROFIBUS DP und ermöglicht z. B. die Anbindung an:

- Remote-E/As vom Typ S800
- Dupline-Kanalgeneratoren
- Geräte zur Bandüberwachung
- CCM Smart Starter und frequenzgesteuerte Antriebe (VFDs)
- Kühleinheit für VFDs und Motoren → 6
- Bandwaagen
- SOBO-Bremscontroller
- Pt100-Module zur Temperaturüberwachung
- Zählermodule zur Drehzahl- und Schlupfüberwachung (angetriebene und nicht angetriebene Trommeln)

Fußnoten

- 2 USV = Unterbrechungsfreie Stromversorgung
3 SPS = Speicherprogrammierbare Steuerung

Der Umfang des Projekts El Teniente beschränkt sich nicht auf den Antriebsstrang des GCD, sondern beinhaltet die gesamte elektrische Ausrüstung.



MCCP sorgt dafür, dass alle Frequenzumrichter das gleiche Drehmoment auf das Band ausüben.

Software

Die Controller-Anwendungen folgen einem standardisierten und leicht lesbaren Aufbau gemäß ABB-Standards und basieren auf der System 800xA Minerals Library von ABB. Zur Unterstützung der Bandfördereranwendung wurde eine Reihe spezieller ABB-Softwaremodule entwickelt.

Zentrale Leitwarte

Über fünf Bedienerarbeitsplätze erhält das Bedienpersonal alle erforderlichen Prozessinformationen in Form von Grafikbildschirmen, Alarm- und Ereignislisten sowie Trendanzeigen zur Überwachung und Steuerung der Ausrüstung. Das Bedienpersonal kann den Prozess steuern und überwachen, aber keine Parameter oder Konfigurationseinstellungen verändern.

Steuerung der Hauptantriebe

Die VFDs von ABB werden über eine Hochgeschwindigkeits-Antriebsbus-Schnittstelle (DDCS) zur Steuerung der Hauptantriebe

und über Profibus DP zum Auslesen von Diagnoseinformationen integriert.

Die Hauptsteuerung des Bandförderers erfolgt über das Mining Conveyor Control Program (MCCP) von ABB. Die ausgefeilte Regelung ist herkömmlichen Regelungsmethoden (z.B. Master-Follower) in Genauigkeit und Flexibilität überlegen. Besonderes Augenmerk liegt auf der Lastverteilung zwischen den Motoren beim Anlaufen und im Betrieb, um hohe Drehmomentspitzen und Schwingungen des Bandes in Längsrichtung zu vermeiden.

MCCP sorgt dafür, dass alle angeschlossenen Frequenzumrichter das gleiche Drehmoment auf das Förderband ausüben, wobei eine bestimmte Lastverteilung zwischen verschiedenen Trommeln eingestellt werden kann. Darüber hinaus enthält MCCP alle erforderlichen Begrenzungs-, Überwachungs- und Schutzfunktionen.

Marcelo Perrucci

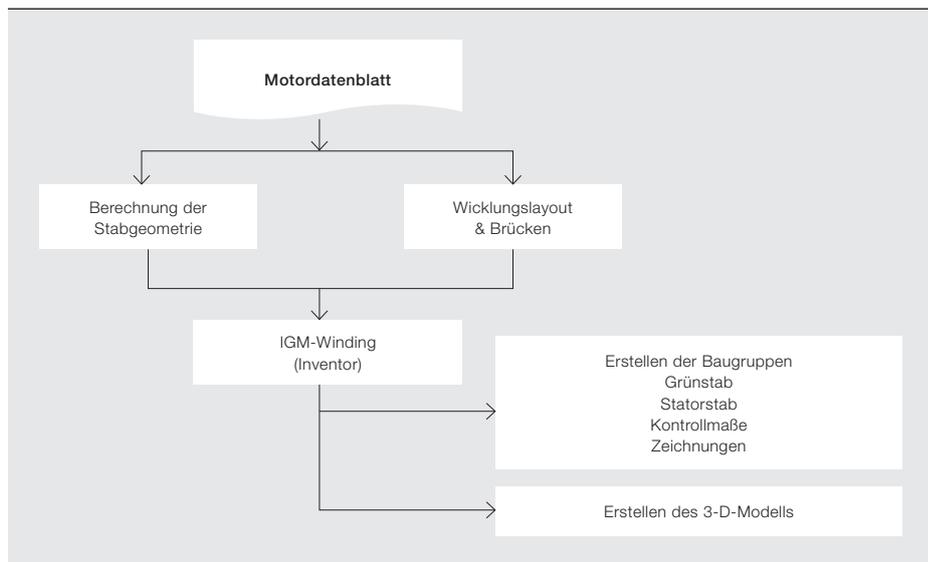
ABB Process Automation, Industry Solutions
Baden-Dättwil, Schweiz
marcelo.perrucci@ch.abb.com



Die dritte Dimension

3-D-Wicklungsdesign für getriebelose Mühlenantriebe

MACARENA MONTENEGRO-URTASUN, GIOVANNI CANAL, JAN POLAND, AXEL FUERST – Getriebelose Mühlenantriebe werden individuell nach Kundenvorgaben gefertigt und sind somit nicht von der Stange zu haben. Laut IEEE sind 33% aller an großen Motoren im normalen Betrieb beobachteten Ausfälle und die damit verbundenen exorbitanten Stillstandkosten auf die Statorwicklung zurückzuführen. ABB hat eine 3-D-Wicklungsdesignphilosophie eingeführt, die es ermöglicht, verschiedene Wicklungslayouts zu evaluieren und zu vergleichen und somit eine solide Basis für Analysen und die Wahl der richtigen Lösungen zu schaffen. Das Ergebnis sind reduzierte Fertigungskosten, eine schnellere Installation vor Ort, kürzere Reparaturzeiten und eine geringere Gefahr von konstruktionsbedingten Wicklungsausfällen.



Im Jahr 1969 lieferte ABB den ersten getriebelosen Mühlenantrieb (Gearless Mill Drive, GMD) – einen 8.600 PS starken Motor für eine Kugelmühle – an Lafarge Cement in Frankreich. Seitdem sind GMD-Systeme immer größer und leistungstärker geworden. Außerdem werden sie in immer größeren Höhen – bis über 4.000 m – eingesetzt, wo extreme Umwelt- und Randbedingungen die Lebensdauer eines GMD auf die Probe stellen. Unter diesen anspruchsvollen Bedingungen funktionieren nur die besten Wicklungsdesigns problemlos.

Optimales Design mit IGM-Winding

Beim aktuellen Designansatz für GMDs werden zunächst dreidimensionale GMD-Modelle durch Parametrisierung entwickelt und dann zweidimensionale Fertigungszeichnungen erstellt. Die Parameter werden aus den Spezifikationsdaten des Motors berechnet. Anschließend wird automatisch ein 3-D-Modell erzeugt. Dieses Modell bildet die Grundlage für die detaillierte Konstruktion und numerische Simulationen.

Titelbild

Das fortschrittliche ABB-Designtool IGM-Winding ist ein leistungsstarkes Werkzeug zur Optimierung der Wicklungen von elektrischen Maschinen. Das daraus resultierende höherwertige Produkt spart Kosten, beschleunigt die Installation und senkt das Ausfallrisiko, was besonders an entlegenen Standorten von Vorteil ist.

nen. Der komplexeste Teil hiervon ist das Design der Motorwicklungen.

Ohne die richtigen Werkzeuge sind das Design und die Optimierung von Wicklungen kaum zu bewältigen. Allein die Evaluierung möglicher Wicklungslayouts und die Minimierung der Gefahr von Wicklungsausfällen aufgrund unzureichender Luftstrecken erfordert einen immensen Zeitaufwand. Das Ziel bestand daher darin, ein Tool zu entwickeln, das in der Lage ist, ein parametrisches 3-D-Modell – vom einzelnen Leiterstab bis hin zur kompletten Wicklungsbaugruppe – zu erstellen, das Evaluierungen und Optimierungen der verschiedenen Wicklungslayouts ermöglicht, bevor die beste Lösung für die Fertigung gewählt wird. Die Ausgabe des Tools sind die vollständigen optimierten und geprüften Konstruktionszeichnungen, die für die Wicklungsfertigung und die spätere Qualitätskontrolle erforderlich sind. Das von ABB für diesen Zweck entwickelte Tool heißt „IGM-Winding“.

Drei Phasen, ein Projekt

Das Designtool wurde in den vergangenen zwei Jahren in drei Phasen implementiert. Diese umfassten die Berechnung der Stabgeometrie, die Berechnun-

gen des Wicklungslayouts und das parametrische 3-D-Modell der Wicklung. Als Ausgabe liefert das Tool die Konstruktionszeichnungen für alle zum Bau der Wicklung notwendigen Teile → 1.

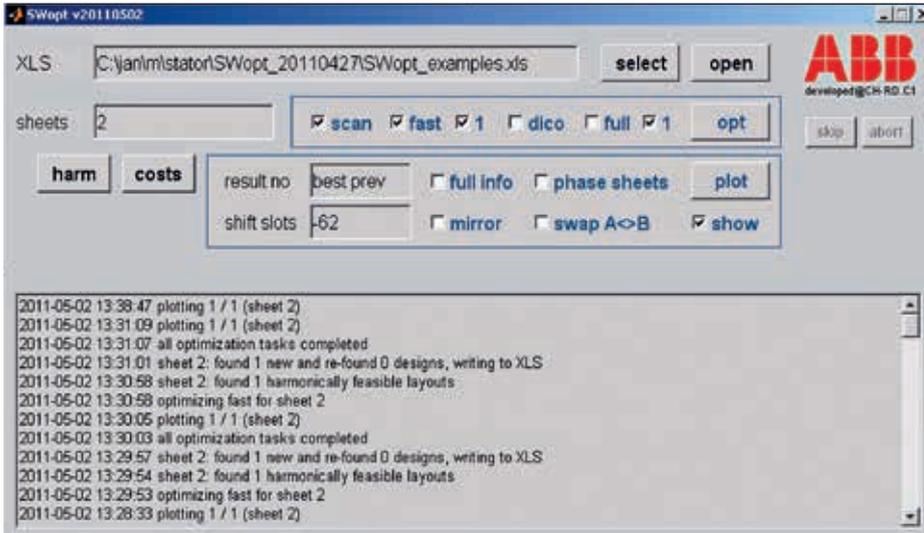
Die Berechnung der Stabgeometrie besteht aus einer kurzen Routine zur geometrischen Berechnung der Statorstäbe. Als Eingaben dienen die Werte aus dem Motordatenblatt.

Die Wicklungslayouts und Brücken werden mithilfe eines von ABB entwickelten Tools berechnet → 2a. Die Jumper können auf verschiedene Weise angeordnet werden,

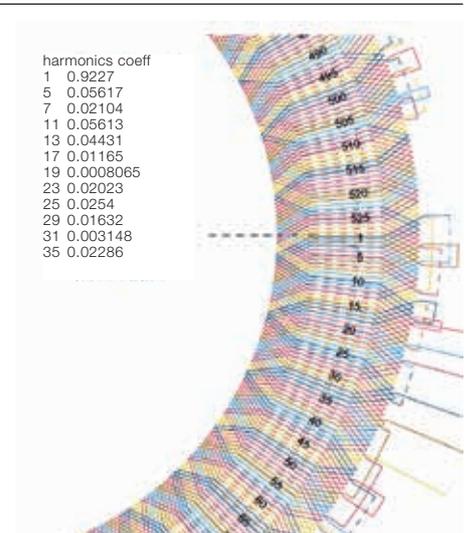
Das Designtool wurde in drei Phasen implementiert: die Berechnung der Stabgeometrie, die Berechnungen des Wicklungslayouts und das parametrische 3-D-Wicklungmodell.

ohne das elektrische Layout des Designs zu beeinflussen → 2b. Ist das endgültige Layout gewählt, muss eine Liste erstellt werden, die festlegt, welche Art von Stab sich in welcher Nut befindet → 2a.

Das in Autodesk Inventor implementierte 3-D-Wicklungstool IGM-Winding nutzt die Werte aus der Berechnung der Stabgeometrie und der Berechnung des Wick-



2a Typisches Dialogfenster



2b Mit dem Tool erstelltes Wicklungslayout

lungslayouts als Eingaben, um das parametrische 3-D-Modell der Wicklung und ihrer Komponenten zu erstellen und zu zeichnen.

Wahl des besten Wicklungslayouts

Die Entscheidung für das beste Wicklungslayout ist ein anspruchsvolles Optimierungsproblem. Da Bruchlochwicklungen (Layouts, bei denen die Anzahl der Nuten kein ganzzahliges Vielfaches der Polzahl multipliziert mit der Anzahl der Phasen ist) aufgrund ihrer günstigen Oberschwingungseigenschaften für gewöhnlich bevorzugt werden, kann nicht jede Spule einfach direkt mit einer benachbarten Spule verbunden werden. Ein gültiges Wicklungslayout muss sogenannte Jumper enthalten, die Lücken zwischen Wickelköpfen überbrücken, die einige Nuten auseinander liegen. Diese Jumper können auf mehr oder weniger günstige Weise platziert werden, wobei das Hauptkriterium die Minimierung der Material- (Kupfer) und Fertigungskosten ist. Tatsächlich ist das Layoutproblem für eine einzelne Phase ein Beispiel für das sogenannte „Problem des Handlungsreisenden“ (engl. Traveling Salesperson Problem, TSP), eines der am häufigsten untersuchten Probleme in der mathematischen Optimierung. Das Ziel ist es, einen Weg zu finden, der genau einmal durch alle Spulen (in TSP-Begriffen: Städte) führt, sodass die Reisekosten (d. h. die Kosten für die Verbinder) minimal bleiben. Das TSP gehört zu einer Klasse von Problemen, die schwer zu lösen sind und dies wohl auch in Zukunft bleiben werden.

In Bezug auf das Wicklungslayout gilt es, ein Problem zu lösen, das noch schwieriger ist als das TSP: Es gibt für jede Phase ein TSP, wobei sich alle Probleme gegenseitig beeinflussen, da alle für das optimierte Layout gewählten Jumper nicht miteinander in Konflikt stehen dürfen. Hinzu kommt, dass die induzierten elektrischen Felder nebeneinander liegender Jumper in Wechselwirkung treten. Es sind also günstige Wechselwirkungen gesucht, bei denen sich die Felder gegenseitig aufheben. Neben der Platzierung der Jumper muss auch über die Zuordnung der Stäbe zu den drei Phasen entschieden werden, was wiederum die Oberschwingungseigenschaften der Wicklung beeinflusst.

Die Aufgabe der Optimierung des Wicklungslayouts wird in gebräuchliche mathematische Optimierungsframeworks wie die gemischt-ganzzahlige Programmierung (MIP) und Constraint-Programmierung (CP) übertragen. Die MIP-Formulierung bietet den Vorteil, dass alle Designkriterien (in stückweise linearisierten Versionen) im Framework berücksichtigt werden können. Allerdings nutzen MIP-Löser üblicherweise eine Branch-and-Bound-Strategie mit einem Suchbaum, was bis zum Erreichen der erwiesenen Optimalität viel Rechenzeit in Anspruch nehmen kann. CP hingegen ist ein anderer Ansatz, bei dem die Suche nach guten Wicklungslayouts von den Randbedingungen (Constraints) des Problems (die geometrischen Konflikte der Jumper) gelenkt wird. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es häufig sehr schnell



sehr gute Lösungen liefern kann, allerdings ohne Garantie einer globalen Optimalität.

3-D-Wicklungsdesign

Der erste Schritt im 3-D-Wicklungsdesignprozess ist die Erstellung der 3-D-Wicklungsbaugruppe, d. h. ein kompletter Sta-

lungslayouts. Dies hilft beim Vergleich von Varianten und ermöglicht die automatische Erstellung sämtlicher Konstruktionszeichnungen.

Ist das Wicklungslayout gewählt, folgt im 3-D-Designprozess die Integration der Wicklung in das Gehäuse → 4. Dieser

Schritt ist entscheidend für die Validierung des Designs – insbesondere für GMDs, die in großen Höhen eingesetzt werden – und zur Bestätigung aller erforderlichen Abstände für die Installation bzw. Einstellung kritischer

Das TSP gehört zu einer Klasse von Problemen, die schwer zu lösen sind und dies wohl auch in Zukunft bleiben werden.

tor, bei dem die gesamte Anzahl von Nuten mit dem entsprechenden Oberstab (OS) und Unterstab (US) gefüllt ist. Für diesen ersten Schritt muss eine 3-D-Stabbaugruppe erstellt werden, die den Stab sowie alle dazugehörigen Elemente (d. h. verschiedene Laschen, Z-Verbindungen und Isolierkappen) beinhaltet. Da sie geometrisch unterschiedlich sind, wird dies sowohl für den Ober- als auch den Unterstab durchgeführt → 3.

Sobald die OS- und US-Baugruppen erstellt sind, beginnt das Tool automatisch damit, jede Nut der 3-D-Wicklungsbaugruppe mit dem entsprechenden Stabtyp zu füllen. Danach entspricht die 3-D-Wicklungsbaugruppe einer parametrischen 3-D-Darstellung des Wicklungslayouts.

Normalerweise können mehrere elektrische Wicklungslayouts mit verschiedenen Jumperkombinationen für ein Design erstellt werden. Die größte Innovation von IGM-Winding ist die Fähigkeit zur dreidimensionalen Parametrisierung der Wick-

Elemente in der Maschine durch genaue Messung.

Das Layout der Anschlussstäbe wird in das Gehäuse eingebettet → 5. Dies ist der einzige Teil des Designs, der manuell erfolgt. Dabei wird die bestmögliche Führung auf der Grundlage der Biegewinkel, der Länge der Stäbe und der Lage des Anschlusskastens berücksichtigt.

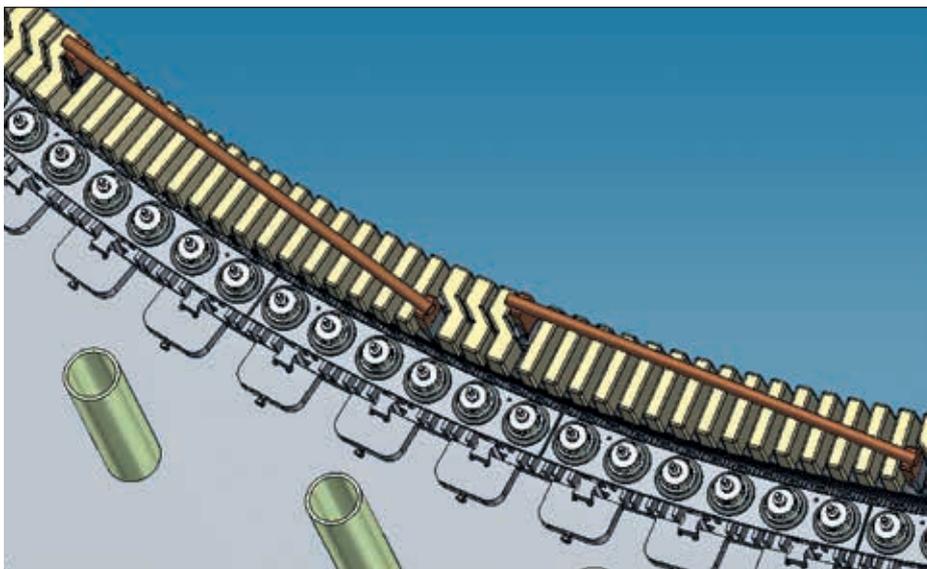
IGM-Winding Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche von IGM-Winding bestimmt die allgemeinen Softwareeinstellungen. Während des Prozesses erzeugt das Programm die Protokolle der Schritte und die Zeichnungen. Diese werden unter „Info“ und „Log“ gespeichert und können in eine CSV-Datei exportiert werden. Die Funktion „Green Bar“ erzeugt zwei Zeichnungen – den sogenannten „grünen“ Stab (Stab ohne Hauptisolation) und den konsolidierten Stab. Diese Zeichnungen werden zu Beginn des Designprozesses benötigt und werden zur Herstellung der Roebelstäbe an den Kupferlieferanten übermittelt.

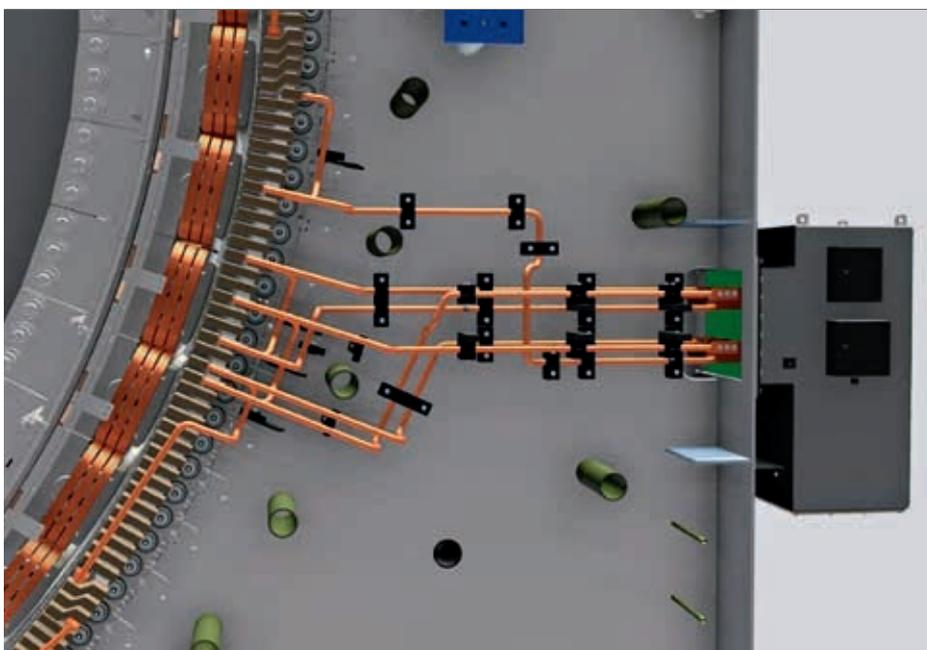
Die Fähigkeit von IGM-Winding zur dreidimensionalen Parametrisierung hilft beim Vergleich von Varianten und ermöglicht die automatische Erstellung von Konstruktionszeichnungen.

Die Aufgabe der Optimierung des Wicklungslayouts wird in gebräuchliche mathematische Optimierungsframeworks übertragen.

4 Integration der Wicklung in das Gehäuse



5 Mit dem Anschlusskasten verbundene Phasenstäbe. Aufgrund des begrenzten Platzes müssen diese sorgfältig konstruiert werden.



Vor dem Erzeugen weiterer Zeichnungen muss die Funktion „Create Assemblies“ ausgeführt werden. Sie erstellt alle 3-D-Modelle der unterschiedlichen OS- und US-Baugruppen (M01, M02 usw.) und deren verschiedenen Elementen.

Die Funktionen „Stator Bar“ und „Stator Bar Control Dimensions“ erzeugen die Zeichnungen der verschiedenen Stabtypen in einem Wicklungslayout und deren jeweilige Kontrollmaße für die Stabherstellung. Diese Zeichnungen sind äußerst wichtig für die Herstellung der Biegewerkzeuge, die Stabfertigung und die Qualitätskontrolle.

Die Funktion „Create 3-D Model“ erzeugt die 3-D-Wicklungsbaugruppe.

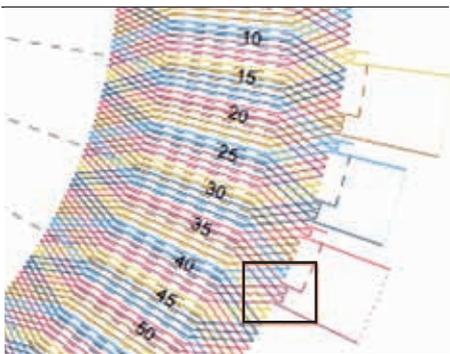
Optimierungspotenzial

Sind alle Informationen erfasst und die verschiedenen möglichen Wicklungslayouts definiert, kann die Optimierung erfolgen. Die Leistungsfähigkeit von IGM-Winding zeigt sich am Beispiel einer Maschine mit 540 Nuten und 36 Polpaaren.

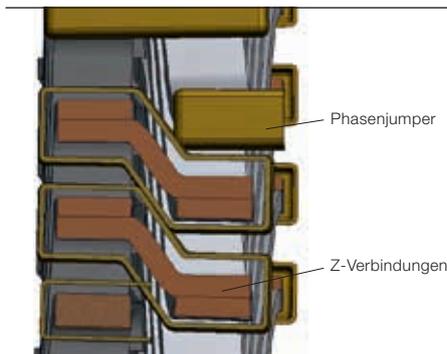
Auf den ersten Blick erscheint das Wicklungslayout recht einfach – keine Jumper in der Statorwicklung, nur die Phasenjumper im Bereich der Anschlussstäbe. Eine Detailansicht zeigt die Phasenjumper, Anschlussstäbe und Z-Verbindungen → 6.

Der markierte Bereich in der Abbildung ist rechts daneben in der Draufsicht dargestellt → 7. Aus der 3-D-Darstellung ergeben sich zwei Regionen, in denen es beim Bau der Isolierkappen über den Stabverbindungen an der Wicklung zu Konflikten kommen wird: Der Raum zwischen der Isolierkappe des Anschlussstabs und der daneben liegenden Z-Verbindung ist konstruktiv nicht machbar. Gleiches gilt zwischen der Isolierkappe des Phasenjumpers und der benachbarten Z-Verbindung. Aufgrund des fehlenden Platzes kann diese Wicklung nicht mit Z-Verbindungen gebaut werden. Für eine alternative Lösung müssen der Mindestabstand zwischen den Verbindungen und die Mach-

6 3-D-Layout einer Wicklungsbaugruppe. Der markierte Bereich ist rechts vergrößert dargestellt.



7 3-D-Ansicht des Wicklungslayouts



8 3-D-Wicklungsbaugruppe



barkeit der Konstruktion und Isolation der neuen Verbindungsgeometrie berücksichtigt werden.

Der Optimierungsprozess kann in jeder Phase des Designs erfolgen. In diesem speziellen Fall geht es hauptsächlich um die konstruktive Machbarkeit des alternativen Teils unter Einhaltung der Mindesttoleranzen und Luftstrecken. Die 3-D-Ansicht eines Wicklungslayouts zeigt ein vollständig anderes Szenario als das zweidimensionale Wicklungslayout → 8. Die Kostenoptimierung – ohne Beeinträchtigung der Qualität oder Leistungsfähigkeit – bezieht sich nicht nur auf die Anzahl der Brücken in einem Wicklungslayout, sondern kann auch auf den Preis einer Z-Verbindung im Vergleich zu einer kleinen gebogenen Brücke bezogen werden. Die Kosten für den zusätzlichen Induktor, der zum Lötens der Z-Verbindung erforderlich ist, entfallen bei der Verwendung einer kleinen Brücke (gleicher Induktor wie für die Anschlussstäbe) ebenso wie die Lötzeit, Platzierung der Anschlüsse, Längen usw. Alle diese Aspekte

sollten bei der Suche nach der bestmöglichen Lösung berücksichtigt werden.

Optimiertes Design, minimierte Risiken

Das einzigartige IGM-Winding-Tool von ABB optimiert das Wicklungslayout einer elektrischen Maschine und hilft den Design- und Konstruktionsteams dabei, die bestmöglichen Entscheidungen auf der Grundlage genauer, parametrisierter 3-D-Modelle zu treffen. Der automatisierte Prozess und die frühzeitige Voraussicht auf kritische Designprobleme ermöglichen die Minimierung der zur Erstellung des Designs und der Zeichnungen erforderlichen Zeit.

Die genaue Vorhersage kritischer Abstände minimiert die Gefahr von Fertigungsproblemen und konstruktionsbedingten vorzeitigen Wicklungsausfällen. Dies gilt besonders für GMDs, die in großer Höhe eingesetzt werden. IGM-Winding wird bei ABB für die Entwicklung der GMD-Designs eingesetzt, kann aber auch für jeden Motor oder Generator verwendet werden.

IGM-Winding optimiert das Wicklungslayout einer elektrischen Maschine und hilft den Design- und Konstruktionsteams dabei, die bestmöglichen Entscheidungen zu treffen.

Macarena Montenegro-Urtasun

Giovanni Canal

Process Automation

Baden-Dättwil, Schweiz

macarena.montenegro-urtasun@ch.abb.com

giovanni.canal@ch.abb.com

Jan Poland

ABB Corporate Research

Baden-Dättwil, Schweiz

jan.poland@ch.abb.com

Axel Fuerst

ehemals ABB Process Automation

Danksagung

ABB dankt der Mensch und Maschine CAD-LAN AG für ihre Unterstützung bei diesem Projekt, insbesondere Peter Voegeli, der eine sehr effiziente Möglichkeit gefunden hat, die 3-D-Geometrie in Inventor zu formulieren.





Größer ist besser

Antriebssysteme von ABB ermöglichen den Einsatz größerer Mühlen im Bergbau

VENKAT NADIPURAM – Eine der Hauptherausforderungen im modernen Bergbau besteht darin, einen hohen Durchsatz zu gewährleisten, obwohl die Erzqualität in den letzten zehn Jahren um 40 % zurückgegangen ist. Dabei gilt es, trotz steigender Energiekosten und immer strengerer Umweltvorschriften attraktive Profite zu erzielen. Analysten sagen der Bergbauindustrie für die nächsten Jahrzehnte ein moderates Wachstum voraus, womit einer hohen Produktivität eine zentrale Bedeutung zukommt. Als Marktführer für Mühlenantriebe nutzt ABB ihr umfangreiches Branchenwissen und ihre Anwendungserfahrung, um der Bergbauindustrie ein vielseitiges Portfolio von Antriebslösungen bereitzustellen.

Titelbild

Antriebslösungen von ABB helfen dabei, die riesigen Mühlen, die heutzutage im Bergbau eingesetzt werden, in Bewegung zu versetzen. Das Bild zeigt einen GMD in der Kupfermine Esperanza in Chile.

Im gesamten Zerkleinerungsprozess werden unterschiedliche Mühlen von verschiedenen elektrischen Antrieben angetrieben.

1 Verschiedene Zerkleinerungsverfahren

Prozess	Größenbereich (mm)
Explosion	$\infty \rightarrow 1000$
Kreiselbrecher	200 \rightarrow 1000
Kegelbrecher	20 \rightarrow 200
AG-/SAG-Mühle	2 \rightarrow 200
Stabmühle	5 \rightarrow 20
Kugelmühle	0,2 \rightarrow 5
HPGR	1 \rightarrow 20
Rührwerksmühlen	0,001 \rightarrow 0,2

 Explosion	 Brechen
 Mahlen	

2 Kugelmühle in der Aitik-Kupfermine



Im Bergbau geht es vereinfacht gesagt darum, wertvolle Metalle aus ihrem Erz zu befreien. Doch das Zerkleinern von Roherz ist alles andere als einfach. Um die Roherzbrocken auf eine nutzbare Größe zu zerkleinern, sind komplexe Prozesse mit einer Vielzahl verschiedener Mühlen erforderlich \rightarrow 1. Einzelne Zerkleinerungskreisläufe werden dabei typischerweise durch Bandförderer miteinander verbunden. Die beiden wichtigsten und entscheidenden Prozesse in einer Zerkleinerungsanlage sind das Brechen und das Mahlen. Für beide ist eine zuverlässige und energieeffiziente Ausrüstung erforderlich, zu der auch entsprechende Antriebssysteme gehören.

Zerkleinerungskreisläufe werden üblicherweise in sogenannte ACB-Kreisläufe (Autogenous – Ball milling – Crushing) oder SABC-Kreisläufe (Semi-Autogenous – Ball milling – Crushing) unterteilt. Ein ABC-Kreislauf besteht aus einer Autogenmühle (AG-Mühle), einer Kugelmühle und einem Brecher, während ein SABC-Kreislauf eine Semiautogenmühle (SAG-Mühle), eine Kugelmühle und einen Brecher umfasst. Eine Kugelmühle ist ein leicht geneigter, horizontaler rotierender Zylinder, der zum Teil mit Keramikugeln, Flintsteinen oder Edelstahlkugeln gefüllt ist, die das Material durch Reibung und Zusammenstoß auf die erforderliche Korngröße zerkleinern \rightarrow 2.

Ein Beispiel für einen typischen Zerkleinerungskreislauf für hohe Durchsätze ist in \rightarrow 3 dargestellt. Dieser besitzt allerdings einen hohen spezifischen Energieverbrauch pro Tonne verarbeitetem Erz, was vor allem auf die geringe Effizienz der Kugelmühlen und die notwendige Verwendung von Stahl als Mahlmedium zurückzuführen ist.

Zahnkranz-Mühlenantriebe

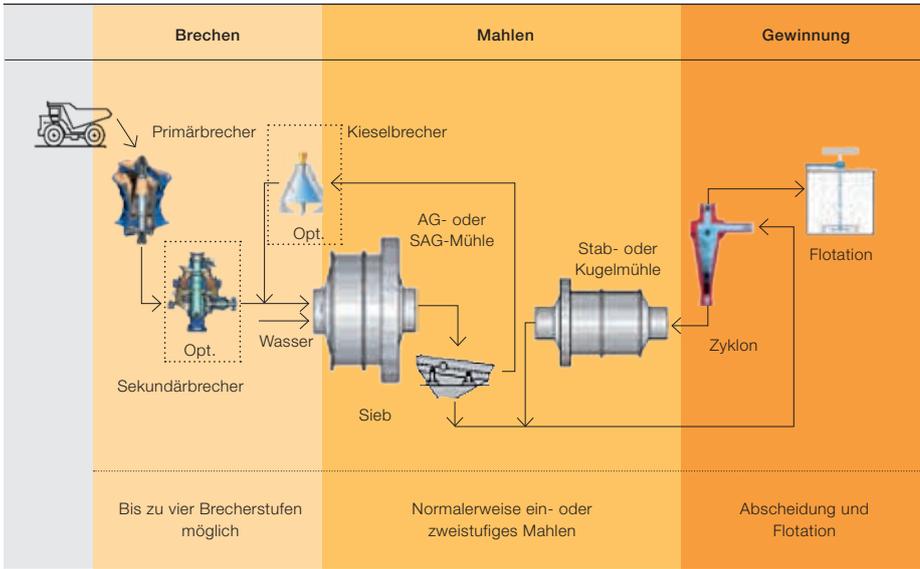
Im gesamten Zerkleinerungsprozess werden unterschiedliche Mühlen von verschiedenen elektrischen Antrieben angetrieben. ABB bietet eine Vielzahl verschiedener Antriebssysteme für die Bergbauindustrie.

Zahnkranz-Mühlenantriebe (Ring-gear Mill Drives, RMDs) sind z. B. eine gute Lösung, wenn die zum Antrieb der Mühle erforderliche Leistung weniger als 18 MW, d. h. maximal 9 MW pro Ritzel, beträgt \rightarrow 4. Je größer die Rohrmühlen jedoch werden, um die Forderung nach höheren Durchsätzen zu erfüllen, desto mehr Leistung erfordert ihr Antrieb. Zwar kann ABB Antriebssysteme für sehr hohe Nennleistungen fertigen, doch aufgrund der physischen Einschränkung eines mechanischen Getriebes sind sie zum Antrieb von Rohrmühlen mit Leistungsanforderungen über 18 MW nur begrenzt einsetzbar.

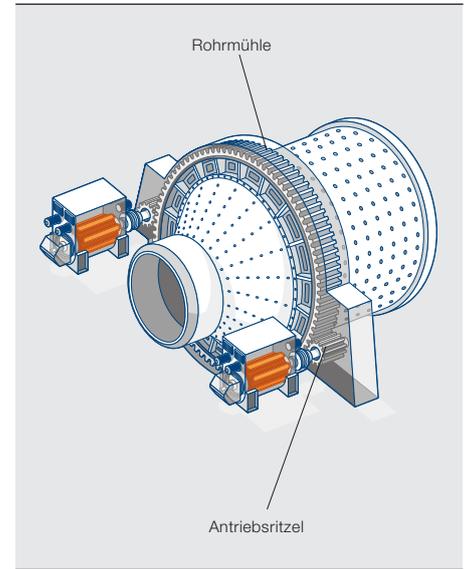
Getriebelose Mühlenantriebe

Die Einschränkungen von RMD-Systemen konnte ABB im Jahr 1969 mit der Einführung des ersten getriebelosen Mühlenantriebs (Gearless Mill Drive, GMD) für die Zementindustrie beseitigen. Der erste GMD für die Mineralindustrie folgte im Jahr 1985. Seitdem hat er sich als Stan-

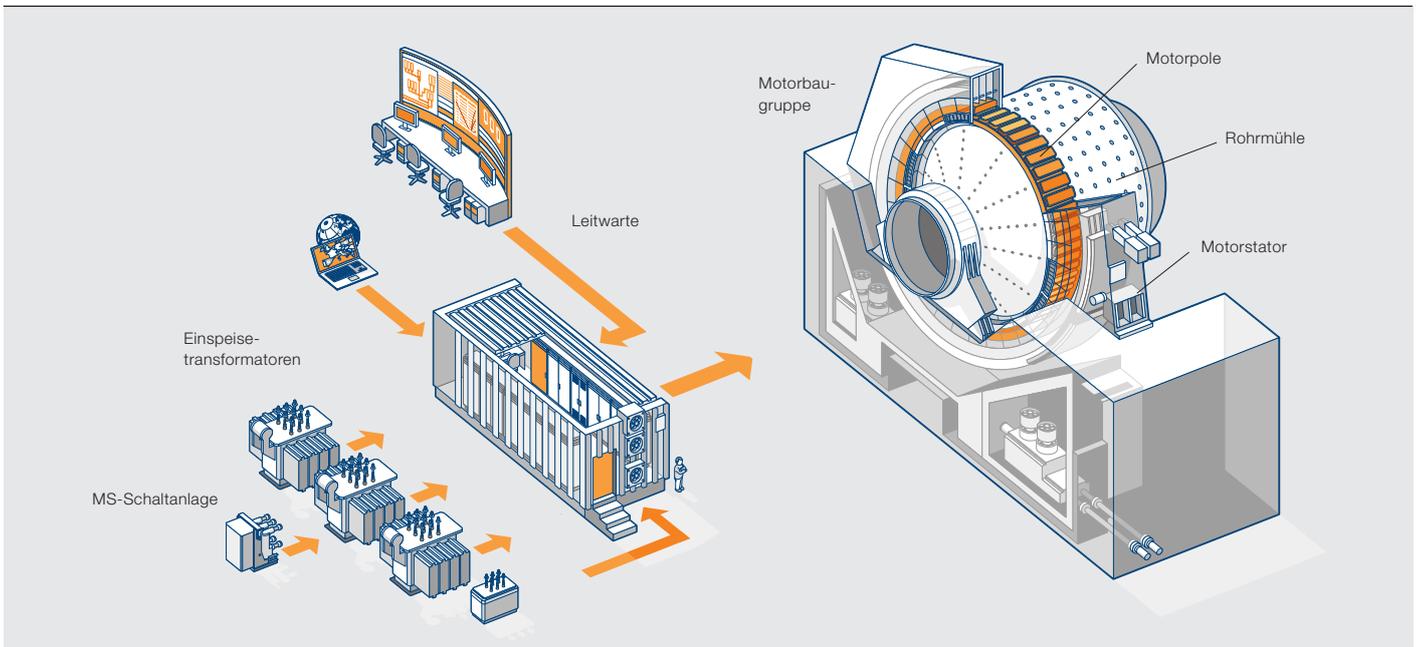
3 SABC-Kreislauf



4 Zahnkranz-Mühlenantrieb



5 Getriebelose Mühlenantriebslösung



ardausrüstung für Bergwerke mit höheren Durchsatzanforderungen etabliert. Bisher hat ABB über 120 GMD-Einheiten weltweit verkauft und installiert.

Der Einsatz von GMDs bei der Mineralzerkleinerung hat sich in den letzten 40 Jahren bewährt, wobei die Vorteile mit der Größe der Mühlen exponentiell zunehmen.

Bei der GMD-Lösung bildet die Trommel der Mühle den Rotor des Motors, wobei die Motorpole um den äußeren Umfang der Trommel herum angeordnet sind → 5. Der Stator wird um die Polbaugruppe herum montiert. Dies geschieht mit einer solchen Präzision, dass zwischen den Polen

und dem Stator je nach Größe der Mühle am Ende ein Spalt von lediglich 14–16 mm bleibt.

Dadurch, dass kein Getriebe (Zahnrad und Ritzel) erforderlich ist, fallen die mit Zahnradern verbundenen mechanischen Einschränkungen weg. So können die Mühldurchmesser den Anforderungen entsprechend vergrößert werden. Den weltweit größten GMD mit einem Durchmesser von 12,8 m wird ABB für die Conga-Mine in Peru bereitstellen.

Der Wegfall von Zahnradern erhöht die Effizienz und die Verfügbarkeit der Mühlen und reduziert gleichzeitig den Wartungs-

Der Wegfall von Zahnradern erhöht die Effizienz und die Verfügbarkeit der Mühlen und reduziert gleichzeitig den Wartungsbedarf.

ABB bietet optimierte, fortschrittliche Antriebslösungen für HPGR-Mühlen und verfügt derzeit über den größten installierten Bestand im Leistungsbereich über 2 MW.

6 Vollständige Vakuum-Druck-Imprägnierung der Wicklungen



bedarf. Die Tatsache, dass sich GMDs konstruktionsbedingt für eine Drehzahlregelung eignen, erhöht die Gesamteffizienz des Mahlprozesses im Hinblick auf den Energieverbrauch und das Mahlergebnis. Eine Drehzahlregelung reduziert außerdem Netzschwankungen beim Anfahren der Mühle und ermöglicht Funktionen wie das Lösen verfestigter Ladung, einen kontrollierten Rücklauf und die Positionierung für Wartungsarbeiten.

Konstruktive Verbesserungen

Seit der Einführung von GMDs hat ABB maßgeschneiderte Lösungen für unterschiedlichste Bergwerke und Prozessanforderungen, angefangen von den Leistungsdaten über die Größe bis hin zur Höhe des Einsatzorts, geliefert. Die jüngste Errungenschaft von ABB auf diesem Gebiet ist die Inbetriebnahme eines 28-MW-Systems in einer Höhe von 4.600 m über dem Meeresspiegel.

ABB entwickelt kontinuierlich neue Funktionen und Designs, die besonders für Bergwerke in großen Höhen und an abgelegenen Standorten eine höhere Verfügbarkeit und einen geringeren Wartungsaufwand garantieren.

Besonderes Augenmerk wurde z. B. auf die Isolierung der Statorwicklung gelegt. Diese besteht aus einer Stabwicklung mit einzeln isolierten Teilstäben, die miteinander verflochten sind, um eine nahezu gleichmäßige Nutzung des gesamten Kupferquerschnitts zu gewährleisten und gleichzeitig Verluste und Wirbelströme zu verringern → 6. Die Teilstäbe sind durch

Vakuum-Druck-Imprägnierung (VPI) mit einer Isolierung auf Mica-Basis versehen. Der gesamte Statorstab einschließlich des Nutabschnitts und des Wickelkopfbereichs ist ebenfalls vakuum-druck-impregniert. Dies ist wichtig für den Einsatz in großer Höhe. Die Kernbleche des Stators sind miteinander verpresst, was die Gesamtsteifigkeit erhöht und die erforderliche Nachzieharbeit über die Lebensdauer des Ringmotors minimiert.

GMD-Zustandsüberwachung

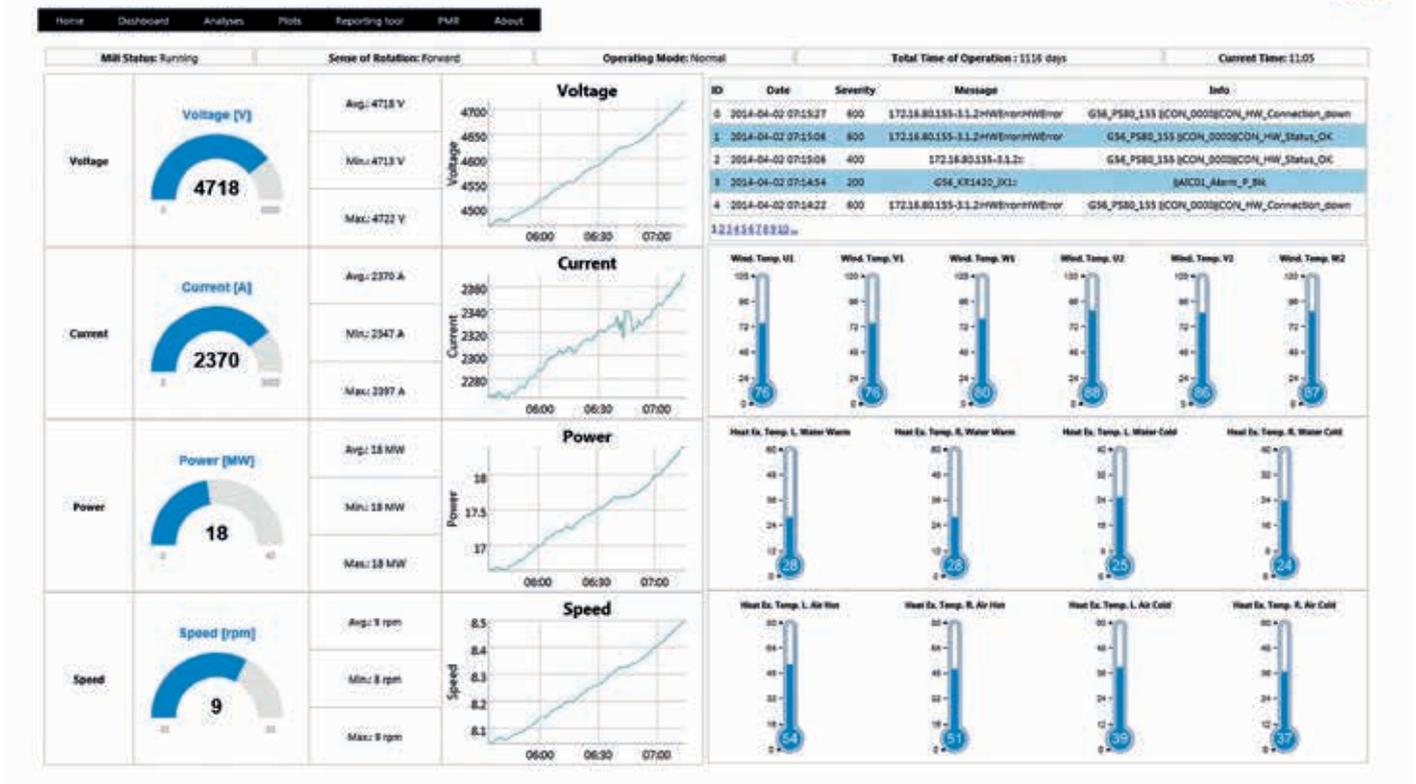
ABB hat fortschrittliche Ferndiagnosetools zur Fehlerbeseitigung und prädiktiven Instandhaltung entwickelt. Damit wird das Bedienpersonal anhand aktueller Betriebsinformationen aus dem System über mögliche Probleme informiert, lange bevor ein automatischer Alarm oder eine Abschaltung aktiviert werden. Die Benachrichtigungen werden per E-Mail oder Textnachricht an das Betriebspersonal und an die Ferndiagnoseexperten bei ABB geschickt → 7.

Die Diagnosetools überwachen eine Vielzahl von Signalen aus allen wichtigen Komponenten des GMD-Systems einschließlich Transformatoren, Direktumrichtern und dem Ringmotor. So kann der Systemstatus kontinuierlich analysiert und der Kunde zuverlässig und rechtzeitig über mögliche Probleme informiert werden, die im Betrieb auftreten können.

Ausgereifte Mahltechnik

Eine neue Herausforderung, mit der sich die Bergbauindustrie von heute zunehmend auseinandersetzen muss, ist die

7 Screenshot einer ABB-Konsole für die Zustandsüberwachung eines GMDs aus der Ferne



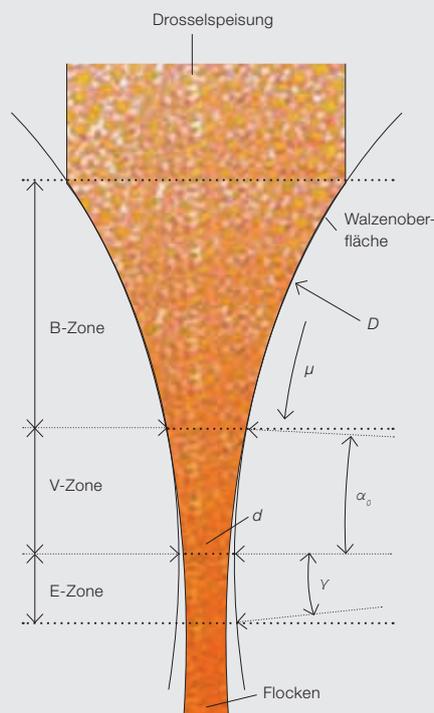
8 Arbeitsweise einer HPGR

Beim Hochdruck-Mahlvorgang kommt eine fortschrittliche Art von Mahlwalze zum Einsatz. Die Maschine besteht aus zwei gegenläufig rotierenden Walzen, von denen eine fest und die andere horizontal beweglich ist. Die bewegliche Walze übt über Hydraulikzylinder einen konstanten Druck auf das Mahlgut aus.

Anders als bei herkömmlichen Brechwalzen erfolgt die Zerkleinerung durch Verdichtung des Mahlguts in einem Schüttbett, das durch Drosselspeisung zwischen den Walzen entsteht, und nicht durch direktes Zerklemmen der Partikel zwischen den Walzen. Das Schüttbett wird dabei auf bis zu 85 % der eigentlichen Materialdichte zusammengepresst.

Diese Verdichtung wird mithilfe eines hohen Drucks von bis zu 300 MPa erreicht, was die Druckfestigkeit des Einsatzmaterials übersteigt. Bei der Verdichtung wird das Material auf eine breite Korngrößenverteilung mit einem großen Anteil an Feinstkörnern gemahlen, die zu Flocken kompaktiert sind.

Die Abbildung zeigt den Materialfluss zwischen den beiden Walzen. In der „B-Zone“ wird das Material in Richtung der Verdichtungszone (V-Zone) gedrückt bzw. beschleunigt, wo es zusammengepresst wird und anschließend in die „E-Zone“ gelangt.



- B-Zone = Beschleunigungszone
- V-Zone = Verdichtungszone
- E-Zone = Expansionszone
- D = Walzendurchmesser
- d = Flockendicke
- α_0 = Winkel der Verdichtungszone
- γ = Winkel der Expansionszone
- μ = Umfangsgeschwindigkeit

Frage, wie größere Mahlanlagen realisiert werden können, die bei stetig abnehmendem Erzgehalt den nötigen Durchsatz gewährleisten und gleichzeitig den Energieverbrauch minimieren.

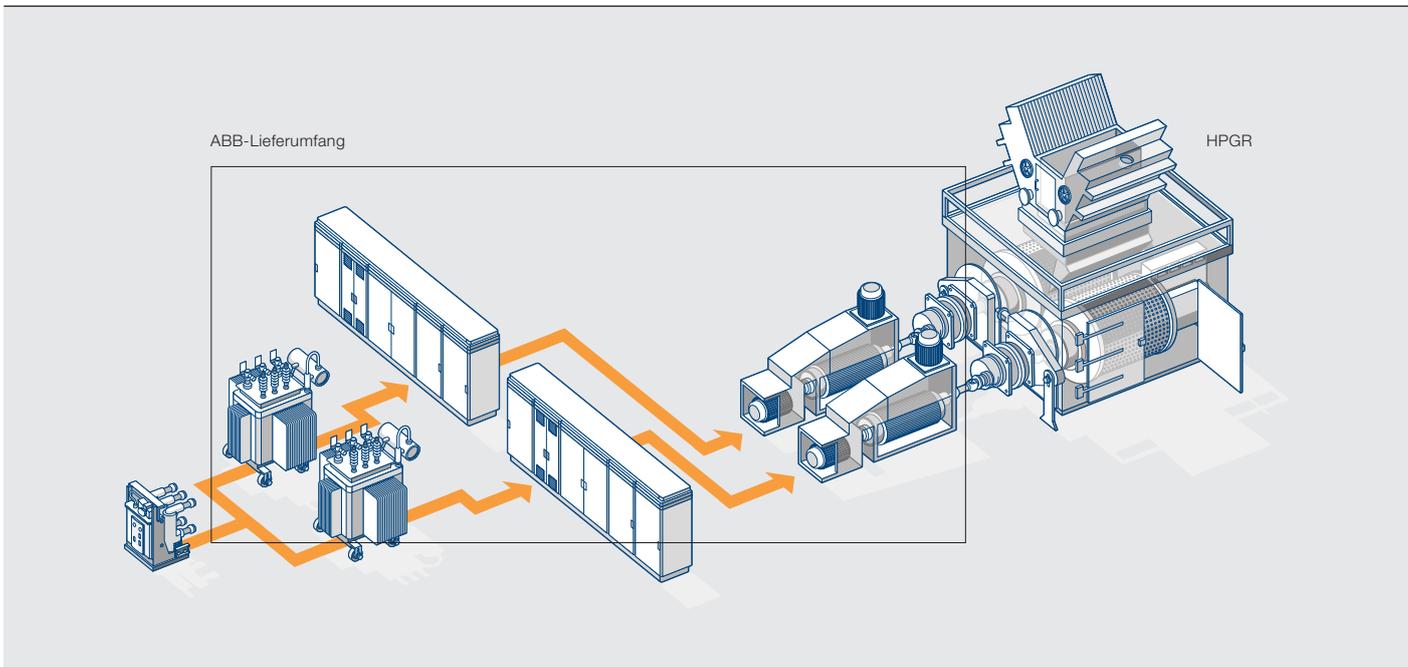
Eine Möglichkeit, diese Herausforderung zu bewältigen, ist der Einsatz von Hochdruck-Mahlwalzen (High-Pressure Grinding Rolls, HPGRs). Diese haben sich beim Mahlen von Rohmineralen als äußerst wirksam erwiesen – insbesondere seitdem die Hersteller Schutzsysteme gegen Walzenverschleiß durch harte und abrasive Erze entwickelt haben → 8.

Darüber hinaus ist der Mahlvorgang mit HPGRs trocken, d.h. es wird Wasser gespart, das an vielen Bergbaustandorten (z. B. in Chile) knapp ist.

Zerkleinerungskreisläufe mit HPGRs

Die vielen Vorteile, die der Einsatz von HPGR-Mühlen in Zerkleinerungskreisläufen mit sich bringt, veranlasst Anlagenbetreiber dazu, sie mit anderen Arten von Mühlen zu kombinieren, um den spezifischen Gesamtenergieverbrauch der Zerkleinerungsanlage zu optimieren.

Der Einsatz von HPGRs in Zerkleinerungskreisläufen bietet zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen Mahlprozessen.



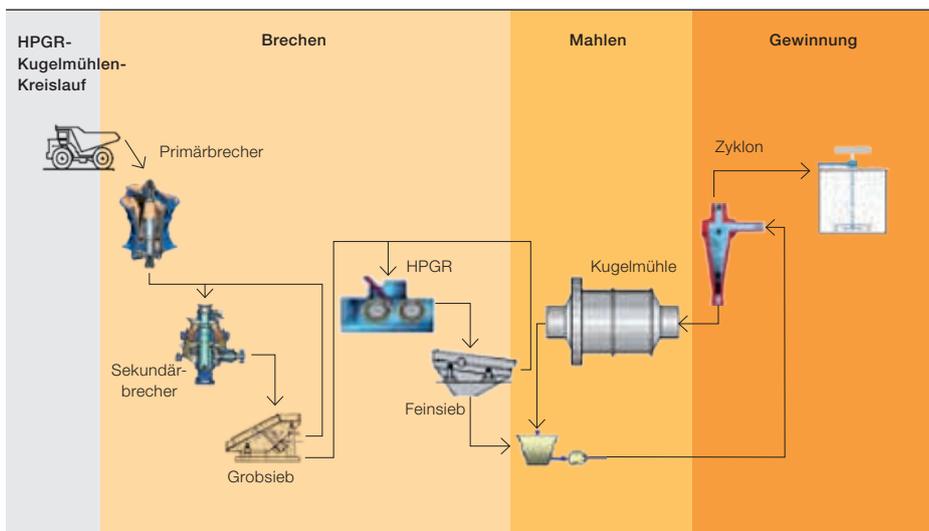
sen mit SAG-Mühlen. Der bedeutendste Vorteil ist eine Energieeinsparung von bis zu 20%. Außerdem werden der Erzaufschluss verbessert, eine niedrigere Mahlbarkeitszahl erreicht, Inbetriebnahmezeiten verkürzt und ein kompakteres Design ermöglicht.

HPGRs werden seit Jahren erfolgreich im Bergbau eingesetzt, was für ihre Produktreife spricht. Im Zuge immer größer werdender Anlagen mit höheren Durchsätzen, die bessere Reduktionsverhältnisse als Tertiärbrecher bieten, werden Sekundärbrecher immer häufiger mit HPGRs kombiniert, um SAG-Mühlen zu ersetzen → 10.

Das Angebot von ABB

ABB bietet optimierte Antriebssysteme für HPGR-Mühlen nach dem neuesten Stand der Technik und verfügt derzeit über den größten installierten Bestand im Leistungsbereich über 2 MW → 9. Bei der HPGR-Antriebslösung von ABB findet eine identische Lastverteilung zwischen beiden Walzen bei der gewünschten Drehzahl statt. Durch die Möglichkeit, die Drehzahl an die jeweiligen Erzeigenschaften anzupassen, wird die mechanische Belastung der Mahlanlage reduziert. Außerdem ist das Antriebssystem in der Lage, die durch den Verschleiß der Walzen verursachte Verringerung der Umfangsgeschwindigkeit durch Erhöhung der Motordrehzahl auszugleichen. Auf diese Weise kann der Durchsatz über die

10 Eine Zerkleinerungsanlage mit HPGRs anstelle von SAG-Mühlen in der Primärmahlung



Lebensdauer der Walzen hinweg optimiert werden. Die direkte Drehmomentregelung (DTC) bietet die schnellste Drehmoment-/Drehzahlreaktion der Branche und ermöglicht so eine rasche und genaue Anpassung an die für HPGR-Anwendungen typischen Lastspitzen, die durch verschiedene Materialgrößen im Zulauf verursacht werden.

HPGRs werden auch in Zukunft eine wichtige Rolle in Zerkleinerungskreisläufen spielen, wo sie dabei helfen, die Energiekosten, den Wasserbedarf und die erforderlichen Stellflächen im Vergleich zu traditionellen SABC-Kreisläufen zu reduzieren. Obwohl sich die HPGR-Technologie mittlerweile als Standard-

lösung in der Mineralverarbeitung etabliert hat, wird sie ständig weiterentwickelt. ABB ist mit vielen neuen Funktionen, die die Leistungsfähigkeit des Antriebssystems weiter optimieren, maßgeblich an dieser Entwicklung beteiligt.

Venkat Nadipuram

ABB Process Automation, Industry Solutions
Baden-Dättwil, Schweiz
venkat.nadipuram@ch.abb.com



Industrielle Evolution

Integration elektrischer Anlagen mit Extended Automation System 800xA und IEC 61850

ALAN FERNANDES TEIXEIRA, LEANDRO HENRIQUE MONACO – Industrielle Automatisierungssysteme haben sich in den vergangenen Jahrzehnten erheblich weiterentwickelt. Dennoch stehen sie heute vor neuen Herausforderungen, insbesondere im Bereich der Integration. Hier geht es darum, verschiedene Standorte und Systeme zu integrieren, um Kosten zu sparen und gleichzeitig die Gesamteffizienz und Sicherheit des Betriebs zu erhöhen. Mit Extended Automation System 800xA bietet ABB eine vollständig integrierte Plattform an, die die Integration elektrischer Anlagen auf Basis der Norm IEC 61850 für Stationsautomatisierungssysteme unterstützt. Die Lösung ermöglicht das Management der Produktionsleistung kompletter Industrieanlagen und des Energieverbrauchs aller Prozessabschnitte, indem sie die Vorzüge verschiedener Systeme und Standorte in einer einzigen Plattform zusammenführt. Mit anderen Worten, ABB bietet eine Hightech-Lösung, die Kunden dabei hilft, ihre Produktion zu optimieren und gleichzeitig die Energieeffizienz zu steigern.



Der in einem industriellen Umfeld herrschende Druck zur Steigerung der Profitabilität und Prozesseffizienz erfordert Lösungen, die die Produktivität steigern und dabei weniger Ressourcen beanspruchen. Dazu gehört auch die Notwendigkeit zur Senkung der Energiekosten bei gleichzeitiger Optimierung der Produktionsleistung. Um dies zu erreichen, müssen sich industrielle Automatisierungssysteme mit vier Hauptherausforderungen befassen:

- Gewährleistung der Sicherheit des Personals
- Reduzierung der Investitionskosten für neue Anlagen
- Anbindung in entfernten und rauen Umgebungen
- Behandlung der mangelnden Integration zwischen Systemen

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen hat ABB ihr Extended Automation System 800xA mit der IEC-Norm 61850 für Stationsautomatisierungssysteme kombiniert, um die Vorzüge verschiedener Systeme und Standorte in eine einzige Plattform zu integrieren → 1. Die Plattform senkt nicht nur die Installations- und Wartungskosten, sondern steigert auch die Anlagenverfügbarkeit durch Reduzierung

von Ausfallzeiten. Darüber hinaus liefert sie zusätzliche Informationen durch intelligente Kombination von Prozessdaten und elektrischen Daten, die zur Realisierung von Energieeffizienzmaßnahmen genutzt werden können.

Sicherheit des Personals

Das Leben ist das höchste Gut. Eine Möglichkeit, dies zu schützen, besteht darin, die elektrischen Gefahren, denen ein Wartungsteam ausgesetzt ist, zu minimieren, um eine sichere Arbeitsumgebung zu gewährleisten. Die Kommunikationsprotokolle, die für gewöhnlich in elektrischen Anlagen zum Einsatz kommen (z. B. PROFIBUS und Modbus), erlauben bereits die Überwachung und Bedienung von Schaltanlagen in Industrieanlagen aus der Ferne. Einige Tätigkeiten wie die Konfiguration und Parametrisierung sowie der Zugriff auf Störungsprotokolle (zur Analyse elektrischer Vorfälle wie Spannungsabfälle und Überstromschutzauslösungen) erfordern jedoch die physische Anwesenheit der Wartungsmannschaften. Bei einem Großteil der zurzeit verwendeten Protokolle können diese beiden Aufgaben nur ausgeführt werden, indem ein Laptop vor Ort an die intelligenten elektronischen Geräte (IEDs)¹ angeschlossen wird. Einer der Hauptvor-

teile von IEC-61850-kompatiblen Geräten und Systemen ist, dass die in der Norm definierten Protokolle die Durchführung der beiden Aufgaben aus der Ferne ermöglichen, wenn die IEDs mit einem Ethernet-Netzwerk verbunden sind und die Dateien über diese Infrastruktur übertragen werden können → 2. Die Anwesenheit eines Wartungsteams ist somit nur noch erforderlich, wenn ein mechanisches Problem vorliegt.

Der Druck zur Steigerung der Profitabilität und Prozesseffizienz erfordert Lösungen, die die Produktivität steigern und dabei weniger Ressourcen beanspruchen.

Reduzierung der Investitionskosten

Ein entscheidender Aspekt bei einer Neuimplementierung sind die Investitionskosten. Die Menge der festverdrahteten Verbindungen in einer Schaltanlage gehört zu den Faktoren, die eine Installation teuer

Titelbild

Als vollständig integrierte Plattform erfüllt ABB System 800xA nicht nur die Anforderungen an ein echtes Energiemanagementsystem, sondern erhöht auch die Sicherheit, indem es Eingriffe aus der Ferne ermöglicht und dabei hilft, Risiken zu mindern.

Fußnote

- 1 Der Begriff IED steht für einen mikroprozessorbasierten Controller und wird hauptsächlich in der Schutztechnik und der Netzautomatisierung verwendet. IEDs führen elektrische Schutzfunktionen aus, stellen lokale Steuerungsintelligenz bereit und können direkt mit einem SCADA-System kommunizieren. Beispiele sind Schutzrelais, Controller für Leistungsschalter und Spannungsregler.

IEC 61850

Die IEC 61850 stellt ein standardisiertes Rahmenwerk für die Schaltanlagenintegration bereit, das Kommunikationsanforderungen, funktionale Eigenschaften, die Struktur von Daten in Geräten, Benennungskonventionen für die Daten, die Art und Weise, wie Anwendungen interagieren und Geräte steuern, und wie die Konformität mit der Norm getestet werden soll, festlegt.

Weitere Anwendungsinformationen zur dieser Norm finden Sie im *ABB Review Special Report* „IEC 61850“ vom August 2010.

Extended Automation System 800xA

System 800xA ist ein integriertes Prozessautomatisierungssystem, das Engineering, Umsetzung und Ausführung von Automatisierungsstrategien für Prozessführung, Energiemanagement, elektrische Anlagen und Sicherheit in einem System ermöglicht. Seine Integrationsarchitektur auf Basis der Aspect-Object-Technologie verknüpft sämtliche Anlagendaten (Aspects) mit spezifischen Betriebsmitteln (Objects). Dies ermöglicht ein effizientes Engineering und die Darstellung der richtigen Informationen im richtigen Kontext für den richtigen Benutzer per Mausklick.

Eine gemeinsame Plattform senkt die Installations- und Wartungskosten, steigert die Anlagenverfügbarkeit und liefert zusätzliche Informationen durch intelligente Kombination von Prozessdaten und elektrischen Daten.

machen. Es lässt sich aber ein Muster in der Verbindung der Schaltschränke (d. h. IEDs) untereinander bestimmen, das sich innerhalb einer Schaltanlage (oder mehrerer Schaltanlagen einer Industrieanlage) normalerweise mehrfach wiederholt. Könnten die Verbindungen zwischen Schaltschränken gleichen Typs durch ein Kommunikationsprotokoll hergestellt werden, würde dies die Installationskosten erheblich senken. Hierzu sieht die IEC 61850 das GOOSE-Protokoll (Generic Object-Oriented Substation Event)² vor. Für jeden typischen Schaltschrank gibt es eine typische IED-Konfiguration, die bei der gesamten Anlagenoptimierung wieder verwendet werden kann. Hinzu kommt, dass aufgrund des von den IEDs verwendeten digitalen Protokolls zunehmend Lichtwellenleiter die Aufgabe von Kommunikationskabeln übernehmen. Und da diese gegen elektromagnetische Störungen unempfindlich sind, können Sie näher an Stromschienen platziert werden.

Ein weiterer Vorteil ist, dass bei einer gemeinsamen (softwarebasierten) Konfiguration nur ein IED getestet werden muss und erforderliche Anpassungen der Konfiguration einfach auf alle anderen IEDs übertragen werden können. Das Testen und die Inbetriebnahme werden ebenfalls erleichtert, wenn eine vorgefertigte E-Haus-Lösung verwendet wird. Dabei können die Schaltschränke bereits in der E-Haus-Fabrik getestet werden.

Fernanbindung

Viele neue Bergwerke werden in großer Entfernung von den Wirtschaftszentren aufgeschlossen. Die Gruben werden immer tiefer und die Erzkörper immer komplexer. Dies – verbunden mit einem Mangel an Fachkräften – macht eine stärkere Automatisierung der Anlagen erforderlich. Für die Schaltanlagen bedeutet dies, dass unterschiedliche Anlagen an verschiedenen Standorten an dasselbe Überwachungssystem angebunden werden müssen, damit diese von einem zentralen Ort aus ferngesteuert und überwacht werden können. Die Umsetzung der IEC 61850 in System 800xA ermöglicht eine digitale Kommunikation zwischen den IEDs und den Servern im System zur Herstellung einer solchen Verbindung → 2–3. Dies wiederum liefert dem Wartungspersonal die erforderlichen Informationen, um Probleme und Lösungen schnell aus der Ferne zu identifizieren. So können Hardwareprobleme innerhalb kürzester Zeit behoben werden, was die Anlagenverfügbarkeit und somit auch die Produktivität erhöht.

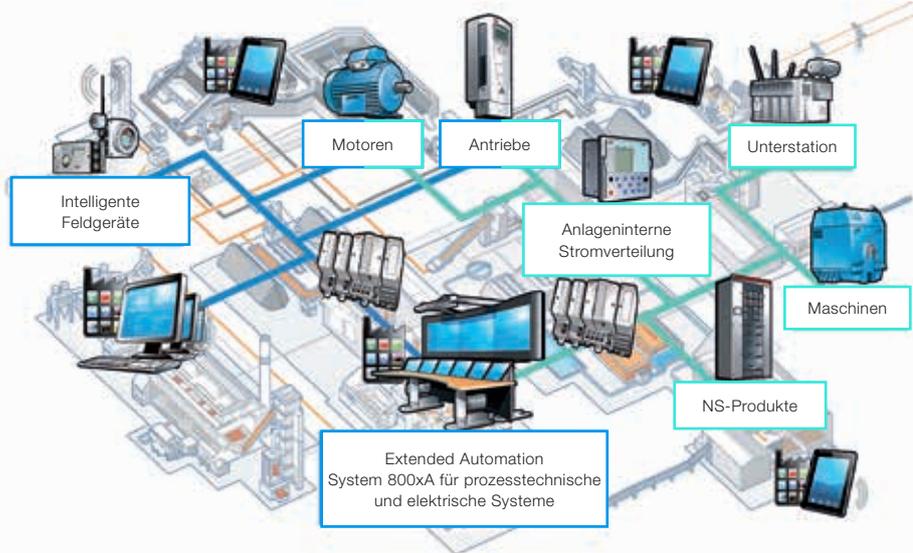
Eine Plattform, viele Systeme

Mit dem Aufkommen der digitalen Datenverarbeitung in industriellen Anwendungen wurden verschiedene Informationssysteme entwickelt, um eine vollständigere Datenbasis für die verschiedenen Ebenen einer Anlage bereitzustellen. Heute ist es fast üblich, dass eine Anlage viele verschiedene Systeme für unterschiedliche Anwendungen (Überwachung, Wartung und Produktionsplanung) besitzt, die die gleichen Informationen benötigen (z. B. die Stellung eines Leistungsschalters). Doch wenn alle Anwendungen die gleichen Informationen benötigen, könnte dies zu zwei Szenarios führen, die einem guten Anlagenmanagement entgegenstehen:

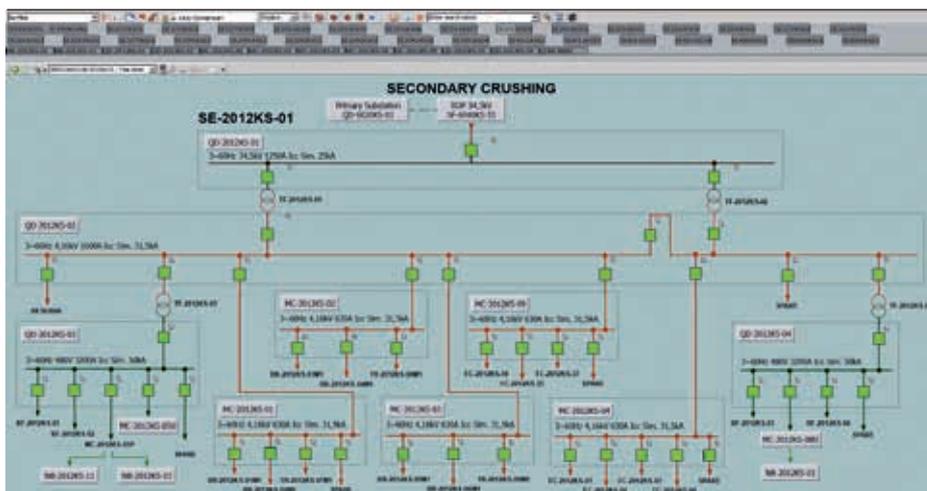
Fußnote

- 2 GOOSE ist das in der IEC 61850 definierte Kommunikationsprotokoll. Es ermöglicht einem IED das Senden schneller Mitteilungen an andere IEDs unabhängig von einem Überwachungssystem oder Controller. Damit können wichtige Auslöse- und Verriegelungsinformationen innerhalb von 3 ms zwischen IEDs übertragen werden.

3 System 800xA ermöglicht die Integration des anlageneigenen Prozessleitsystems und schafft so einen kombinierten Datenbestand für prozesstechnische und elektrische Komponenten.



4 Die Integration aller Spannungsebenen vereinfacht den Betrieb und die Kommunikation zwischen Komponenten.



- Die gleiche Information wird mehrfach in die verschiedenen Systeme eingegeben.
- Die „Kommunikation“ zwischen den Systemen ist in Wirklichkeit die Kommunikation zwischen den Menschen, die sie bedienen.

Die integrierte Plattform von System 800xA beseitigt dieses Problem vollständig.

Für gewöhnlich werden Hoch- und Mittelspannungs-Schaltanlagen in Industrieanlagen von zwei unterschiedlichen Systemen und Teams verwaltet. Durch Anwendung der IEC 61850 auf beiden Ebenen können alle Schaltanlagen in ein- und dasselbe System 800xA integriert werden, was z. B. den Betrieb und die Kommunikation zwischen Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräten vereinfacht.

Neben der Integration von Schaltanlagen für verschiedene Spannungsebenen in ein- und dasselbe System ermöglicht System 800xA auch die Integration des Prozessleitsystems der Anlage → 4. Durch die Verwendung von IEC-61850-kompatiblen Geräten innerhalb des gleichen 800xA-Systems, das auch für die Prozessführung zuständig ist, kann ein kombinierter Datenbestand für prozesstechnische und elektrische Komponenten geschaffen werden, der die Bestimmung relevanter Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) für den Anlagenbetrieb ermöglicht.

Einer der wichtigsten KPIs ist die Prozesseffizienz, d. h. das Verhältnis zwischen dem Energieverbrauch und der Produktionsleistung. Dieser Indikator ermöglicht Vergleiche zwischen verschiedenen Prozesslinien und sogar verschiedenen

Betriebsmitteln innerhalb eines Prozessschritts. Dies hilft dabei, Probleme oder Diskrepanzen schneller zu erkennen.

Herausforderungen bewältigen

Während die Evolution der Automatisierungssysteme für die Betriebsabläufe von Vorteil war, brachte sie auch einige Herausforderungen im Hinblick auf die Zukunft mit sich. So zwingt die Knappheit natürlicher Ressourcen Unternehmen zunehmend dazu, in extrem entlegenen und rauen Umgebungen nach neuen Ressourcen zu suchen, was die Betriebskosten über die Lebensdauer der Ausrüstung erhöht. Damit kommt der Instandhaltung eine entscheidende Rolle zu, wenn es darum geht, das Verhalten von Betriebsmitteln besser vorherzusehen und unproduktive Reparaturzeiten zu reduzieren.

In einem vollständig integrierten System haben Informationen aus verschiedenen Perspektiven der Anlage eine positive Auswirkung auf die Entscheidungsfindung und unweigerlich auf den Prozess selbst. Doch mit neuen Systemen sind verschiedene Datenbestände entstanden, und die fehlende Integration zwischen ihnen ist zu einem kritischen Faktor im Management von Industrieanlagen geworden. Informationen, die gleichzeitig in verschiedenen Systemen publiziert werden, können eine effiziente Berichterstellung und Entscheidungsfindung im Fehlerfall behindern, bzw. eine ineffiziente Kommunikation zwischen Teams in unterschiedlichen Sektoren kann zu häufigeren Produktionsunterbrechungen führen.

ABB System 800xA stellt nicht nur eine vollständig integrierte Plattform bereit, sondern erfüllt auch die Anforderungen an ein echtes Energiemanagementsystem. Vor allem aber trägt die Lösung zur Erhöhung der Sicherheit bei, da sie dem Wartungspersonal potenziell gefährliche Situationen erspart, indem sie der Leitwarte umfassende Diagnosemöglichkeiten bereitstellt, Eingriffe aus der Ferne ermöglicht und Risiken mindert, bevor das Wartungsteam entsprechende Maßnahmen initiiert.

Alan Fernandes Teixeira

ABB Process Automation, Industry Solutions
São Paulo, Brasilien
alan.fernandes@br.abb.com

Leandro Henrique Monaco

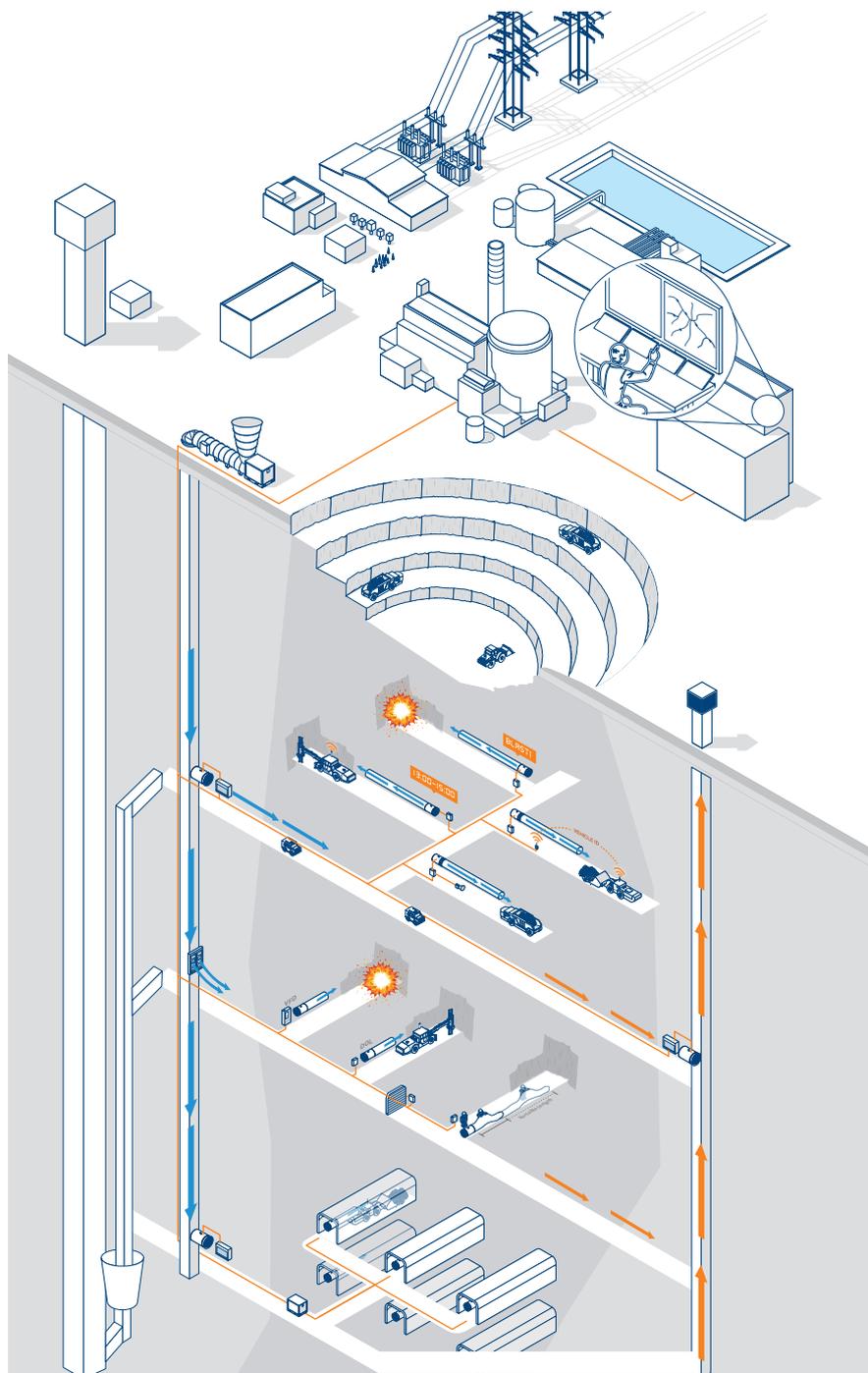
ABB Process Automation, Control Technologies
Västerås, Schweden
leandro.monaco@se.abb.com

Effizientere Betriebsabläufe

Bessere Zusammenarbeit im Bergbau durch Extended Automation System 800xA

JOHAN BJORKLUND, ANDERS BOMAN, MIKAEL STEINER – Viele Herausforderungen im Bergbau lassen sich durch die Implementierung einer wirksamen Automatisierung bewältigen. Seit über einem Jahrzehnt gehört das ABB Extended Automation System 800xA zu den führenden Automatisierungsplattformen. Es ist bekannt für seine Fähigkeit, die Produktivität durch Konsolidierung der vielen Subsysteme eines Unternehmens (IT, Elektrik, Sicherheit, Telekommunikation, Logistik, Prozessdaten usw.) zu steigern. Außerdem bietet es leistungsstarke Bedienerumgebungen, die sich ideal für zentralisierte Leitwartenlösungen eignen. Damit passt System 800xA perfekt in den Bergbau, was viele Installationen rund um die Welt beweisen.

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) werden bereits seit vielen Jahren im Bergbau eingesetzt – allerdings meist in einzelnen „Automatisierungseinseln“. Generell ist die Automatisierung in Bergwerken meist einfacher als in anderen Industrien und beschränkt sich häufig auf die einfache Steuerung von Motoren, Ausrüstungen oder einzelnen Prozess-



teilen. Um die aktuellen Herausforderungen der Branche zu bewältigen, ist eine Automatisierungslösung erforderlich, die den gesamten Bergbauprozess vom Abbau bis zur Auslieferung der abgebauten Produkte an den Endkunden umfasst.

System 800xA von ABB ist eine Automatisierungsplattform, die dies leisten kann. Sie ist in der Lage, Produkte und Lösungen verschiedener Art in eine einzige Prozessleitumgebung zu integrieren: traditionelle Prozesssteuerungen

wie SPS, verteilte Prozessleitsysteme (PLS), Sicherheitssysteme, elektrische Betriebsmittel wie Antriebe und Motoren sowie Produktionsplanungs-, Energie-management-, Instandhaltungs-, Asset-Management-, Ressourcenplanungs- und Dokumentationssysteme.

Die gesamte Prozessausrüstung eines Bergwerks von mobilen Maschinen, Transportfahrzeugen, Brechwerken, Förderbändern, Schachtförderanlagen, getriebelosen Mühlenantrieben, Lüftern und Pumpen bis hin zu Sensoren und Mess-

Titelbild

Die Automatisierung liefert den Schlüssel zur Reduzierung von Kosten und Erhöhung der Produktivität und Sicherheit in der Bergbauindustrie.

technik kann mit System 800xA integriert werden. Das bedeutet, dass der gesamte Betrieb unter einem einzigen System gesteuert und optimiert werden kann. So können z. B. das Sprengen und Zerkleinern zusammen mit dem Mahlprozess in der Konzentrieranlage optimiert und Lücken in der Wertschöpfungskette geschlossen werden.

Eine neue System 800xA-Generation

Mit fast 10.000 Installationen in über 100 Ländern gehört System 800xA zu den weltweit führenden PLS. System 800xA ist in der Lage, über 50 Millionen Tags zu überwachen und zu steuern. Das enorme Potenzial des Systems hat ABB dabei geholfen, sich seit über zehn Jahren als weltweit führender PLS-Anbieter zu behaupten.

Das Release der sechsten Generation von System 800xA, genannt v6, ist nicht nur auf Neuinstallationen ausgerichtet, sondern auch auf Upgrades älterer PLS, die auf nicht mehr unterstützten Betriebssystemen wie Microsoft XP arbeiten. System 800xA v6 bietet Kunden eine sicherere Automatisierungsumgebung, die zur Senkung der Gesamtbetriebskosten beiträgt und gleichzeitig zahlreiche Möglichkeiten zur Steigerung der Produktivität bietet.

Schutz gegen Online-Bedrohungen

System 800xA v6 ergänzt die bereits vorhandenen Sicherheitsmerkmale wie Zugriffskontrolle oder White Listing und bietet weitere Möglichkeiten zur Überwachung und Verwaltung der Leitsystemsicherheit. Zum Beispiel:

- Es basiert auf dem neuesten Microsoft-Betriebssystem mit einer höheren inhärenten Sicherheit.
- Digital Code Signing von Anwendungen sichert die Legitimität von Software.
- Schnellerer und direkterer Zugang zu geprüften Antiviren-Dateien.

Niedrigere Gesamtbetriebskosten

System 800xA v6 bietet die Möglichkeit, die Kosten für Neuinstallationen, Nachrüstungen und Upgrades zu reduzieren:

- Durch Virtualisierung, Erhöhung der Serverleistung und Multicore-Technologie kann der Platzbedarf des Automatisierungssystems deutlich

reduziert werden, was wiederum die Kapital- und Lebenszykluskosten senkt.

- Ein neues eigensicheres Foundation Fieldbus High-Speed Ethernet (HSE) Linking Device ist verfügbar, das direkt in Gefahrenbereichen der Zone 2, Class 1, Divison 2 installiert werden kann und somit Engineering- und Installationskosten spart.

Produktivität

Die Kollaborationsplattform und integrierte Funktionalität von System 800xA ermöglichen dem Nutzer die Implementierung von kostensparenden Initiativen und produktivitätssteigernden Lösungen zu einem Bruchteil der Kosten, die für die Integration von Drittanbietersoftware

System 800xA v6 bietet die Möglichkeit, die Kosten für Neuinstallationen, Nachrüstungen und Upgrades zu reduzieren.

und -hardware erforderlich sind. Neben Alarmmanagement, erweiterten Automatisierungsfunktionen, Videosystemen, Sicherheitsfunktionen, Integration elektrischer Anlagen, Energiemanagement und zahlreichen weiteren Funktionen bietet 800xA v6:

- Drahtlose Mesh-Router zum sicheren Einsatz von mobilen Clients, Wartungsarbeitsplätzen und Prozess-Controllern
- Eine neue Informationsmanagementplattform mit sicherer Konnektivität zu System 800xA zur sicheren Erfassung, Darstellung, Historisierung und Berichterstellung von Daten oberhalb der Leitsystemebene
- Ein integriertes Rufsystem für Durchsagen per elektronischer Sprachausgabe in mehreren Sprachen
- Verbesserte Trenddarstellungen mit Alarmanzeigen, automatischer Skalierung und anpassbaren Rasterlinien

- Neue Arten zur Visualisierung von Daten mit dem „800xA Collaboration Table“, der eine 3-D-Darstellung von Leistungskennzahlen (KPIs) der Anlage ermöglicht
- Ein leistungsstärkeres Batch-Management durch den Einsatz einer neuen multithreadfähigen Ausführungsumgebung
- Neue Paketlösungen von ABB und CGM (ein führender Hersteller von Bedientischsystemen) erleichtern die Konzeption und den Bau von modernen, ergonomischen, produktivitätssteigernden Leitwarten mit dem System 800xA Operator Workplace.

Barrieren beseitigen

Besonderes Augenmerk wurde auf einen deutlich verbesserten Upgrade-Prozess gelegt, der durch ein erweitertes Sentinel-Kundenbetreuungsprogramm unterstützt wird. Dies beinhaltet:

- Ein intelligenteres „rollenbasiertes“ Installations- und Konfigurationstool, das die erforderlichen manuellen Schritte um über 80 % reduziert und auch zur zentralen Erweiterung und Aktualisierung des Systems während des ganzen Lebenszyklus verwendet werden kann.
- Weitere Tools wie den Start Value Analyzer, die für einen reibungslosen Ablauf des Upgrades ohne Überraschungen bei der Anfangseinstellung sorgen.

System 800xA und Bergbau

Die neue Generation des ABB System 800xA erweitert die Funktionalitäten der führenden Automatisierungsplattform, wodurch sie sich noch besser für die Bergbauindustrie eignet. Sie bietet Bergbauunternehmen die Möglichkeit, ihre Produktivität zu steigern, Betriebskosten zu senken, die Sicherheit zu verbessern und die Unmengen von Herausforderungen zu bewältigen, mit der sich die Branche heute konfrontiert sieht.

Mehr über das ABB Extended Automation System 800xA erfahren Sie unter: www.abb.com/800xA oder www.youtube.com/watch?v=POqwOrlJe78

Anders Boman

ABB Control Technologies
Singapur
anders.boman@sg.abb.com



Nahtlose Kommunikation

Private drahtlose Feldautomatisierungsnetzwerke von ABB unterstützen das Flottenmanagement im Tagebau

ROMAN ARUTYUNOV – Moderne Tagebaue sind Hightech-Unternehmen in äußerst rauen Umgebungen. Für einen sicheren und effizienten Betrieb müssen einige der größten und teuersten Maschinen der Welt präzise koordiniert werden – und das an Standorten, die sich durch extreme Hitze und Kälte sowie starke Stöße und Vibrationen auszeichnen. Das Management der Ausrüstung und die Verfolgung von Daten und Material gehören zu den obersten Prioritäten

für die Betreiber von Tagebauen, und das Flottenmanagement ist ein wichtiger Teil ihrer täglichen Arbeit. Zum Glück muss dies nicht zeitaufwändig und mühsam sein. Die patentierten privaten Tropos Wireless-Kommunikationsnetzwerke von ABB steigern die Produktivität und Rentabilität von Tagebaubetrieben, indem sie die Erfassung und Analyse von Echtzeitdaten in der Betriebszentrale des Bergwerks unterstützen und ein fortschrittliches Flottenmanagement ermöglichen.

Für einen sicheren und effizienten Tagebaubetrieb müssen einige der größten und teuersten Maschinen der Welt in einer äußerst rauen Umgebung präzise koordiniert werden.

Bergbau ist ein kapitalintensives Geschäft, in dem teure, schwere Ausrüstung in einigen der feindlichsten Umgebungen der Welt eingesetzt wird → 1. Die Herausforderung für die Betreiber besteht darin, das Kapital bestmöglich für umsatzgenerierende Aktivitäten einzusetzen, d.h. in kürzester Zeit mehr hochwertiges Material aus dem Boden zu holen.

Flottenmanagementanwendungen helfen Bergwerksbetreibern dabei, indem sie es ihnen ermöglichen, voneinander abhängige Betriebsmittel im Bergwerk durch Zuweisung von Arbeitsaufträgen an das jeweilige Bedienpersonal in Echtzeit aufeinander abzustimmen. In Verbindung mit präzisen Führungssystemen sorgen Flottenmanagementsysteme dafür, dass die Bagger das beste Material aus dem Boden holen und die Lkw genau wissen, wohin sie das Material bringen sollen, sodass die Wartezeiten zwischen den Betriebsabläu-

Titelbild

Die Verwaltung von Betriebsmitteln und die Verfolgung von Daten und Material sind für Tagebaubetreiber von zentraler Bedeutung. Die patentierten privaten ABB Tropos Wireless-Kommunikationsnetzwerke unterstützen die Erfassung und Analyse von Echtzeitdaten in der Betriebszentrale des Bergwerks und ermöglichen so ein fortschrittliches Flottenmanagement.

fen minimiert werden. Darüber hinaus können Flottenmanagementsysteme auch eine Überwachung des Funktionszustands der Ausrüstung in Echtzeit beinhalten, um Lebenszykluskosten zu optimieren und Ausfallzeiten zu minimieren.

Bei der Verbesserung der Kapitalnutzung spielen drahtlose Netzwerke eine bedeutende Rolle. Allerdings stellen Tagebaue äußerst hohe funktionale Anforderungen an solche Netzwerke. Für eine erfolgreiche Implementierung des Flottenmanagements müssen sie zunächst einmal die Mobilität über die gesamte Ausdehnung des Tagebaus hinweg unterstützen. Außerdem müssen sie zuverlässig, skalierbar, flexibel und sicher sein und mehrere Anwendungen unterstützen. Im Bergbau können die Flotten unterschiedlich groß sein – von einigen Dutzend bis hin zu mehreren Hundert Fahrzeugen einschließlich Lkw, Schaufelbaggern, Löffelbaggern, Bulldozern und Schürfkübelbaggern. Die drahtlose Netzabdeckung muss flexibel genug sein, um sich an verändernde Bedingungen und die Topologie der Grube anzupassen.

Da sich die Gruben in ihrer Größe und Form verändern können, muss die Netzabdeckung schnell und kostengünstig ohne lange Planungs- und Implementierungszeiten angepasst werden können.

Der Echtzeitcharakter missionskritischer Flottenmanagementanwendungen erfordert ein Netzwerk mit einer geringen Latenzzeit zwischen der Leitwarte und dem Fahrzeug von weniger als 50 ms. Außerdem ist in der Tagebauumgebung eine zuverlässige Kommunikation mit minimalem Paketverlust erforderlich, um eine erfolgreiche Übermittlung der Arbeitsaufträge auf dem gesamten Gelände in Echtzeit zu gewährleisten. Zur Überwachung des Funktionszustands, des Status und der Position der Ausrüstung, Übermittlung der Arbeitsaufträge und Videoüberwachung der Betriebssicherheit sind zudem Breitbandgeschwindigkeiten von mehreren Megabit erforderlich.

Informationssicherheit ist ein weiterer wichtiger Aspekt für Flottenmanagementsysteme im Tagebau, insbesondere im Hinblick auf Dienstverweigerung (DoS), Lauschangriffe und Mittelsmannangriffe. Erfolgreiche Angriffe dieser Art können den Informationsfluss zwischen der Leitwarte und der Feldausrüstung stören und



kostspielige Ausfallzeiten verursachen, die in manchen Bergwerken mehrere Millionen Dollar pro Stunde kosten können.

Vermaschte ABB Tropos Wireless-Netzwerke unterstützen Flottenmanagementanwendungen in einigen der feindlichsten Tagebauumgebungen. Ein Vorteil der ABB Tropos-Technologie ist ihre Fähigkeit, die Anforderungen der drahtlosen Vernetzung im Tagebau auf einzigartige Weise zu unterstützen.

Die Umgebung im Tagebau

Die drahtlose Netzabdeckung ist eines der Hauptprobleme im Tagebau. Die Implementierung turmbasierter drahtloser Technologien wie Punkt-zu-Mehrpunkt- und Zellenarchitekturen ist mit einem hohem Planungs- und Kostenaufwand verbunden. Da die Türme in einiger Entfernung zu den Abbruchkanten auf dauerhaftem Boden errichtet werden müssen, können die Kanten die HF-Signale abschatten, was die Netzabdeckung am Boden der Grube erschwert. Die Lösung besteht darin, mehrere Türme rund um die Grube zu errichten. Doch wenn sich die Form der Grube verändert, müssen zusätzliche Tür-

me errichtet werden, um die neuen Bereiche abzudecken. Dies ist eine kostenintensive und sehr zeitaufwändige Lösung.

Mit der drahtlosen ABB Tropos Mesh-Technologie sind erheblich weniger große Türme erforderlich – in einigen Fällen sogar überhaupt keine. Router, die auf Anhängern rund um die Grube platziert werden, „finden“ einander automatisch und sichern eine umfassende Netzabdeckung in der gesamten Grube. Verändert sich die Topologie der Grube durch neue Abbaubereiche, werden die Anhänger einfach an die neuen Abbruchkanten verlegt. So kann die Netzabdeckung für missionskritische Anwendungen innerhalb von Minuten anstatt von mehreren Monaten wie bei einem turmbasierten Konzept gewährleistet werden → 2–3.

Zur Unterstützung von missionskritischen Flottenmanagementsystemen ist eine hohe Netzverfügbarkeit von 99,999 % (fünf Neuner) erforderlich. Um diese Anforderung zu erfüllen, müssen drahtlose Netzwerke über einen eingebauten Redundanzmechanismus verfügen, der die Wahrscheinlichkeit von Übertragungs-

Für ein erfolgreiches Flottenmanagement müssen drahtlose Netzwerke über die gesamte Ausdehnung des Tagebaus hinweg zuverlässig, skalierbar, flexibel und sicher sein.

Ein Bergwerk ist eine dynamische mobile Umgebung, die eine nahtlose Mobilität der Menschen und Fahrzeuge innerhalb des Netzwerks erfordert.

2 Solarbetriebener Tropos-Router von ABB



fehlern minimiert. Die ABB-Lösung garantiert eine hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit, da die Tropos-Router in einer vermaschten Topologie mit mehreren Pfaden durch das Netzwerk, dynamischen Betriebsfrequenzen, mehreren Funkgeräten und mehrfacher Wiederholung der Übertragung bei jedem Paket arbeiten.

Ein Bergwerk ist eine dynamische mobile Umgebung, in der die Menschen und Fahrzeuge, die sich zwischen den Zugangspunkten innerhalb des Netzwerks bewegen, eine nahtlose Mobilität benötigen. Verzögerungen und Paketverluste sind aufgrund des missionskritischen Charakters in dieser Umgebung nicht tolerierbar. Verlorene Arbeitsaufträge können Betriebsabläufe erheblich verzögern und in einigen Fällen den Arbeitsfluss unterbrechen und lawinenartige Verzögerungen im gesamten Bergwerk nach sich ziehen. Der größte Teil der Paketverluste und Verzögerungen tritt typischerweise vor der Übergabe (Handover) von einem Zugangspunkt zum nächsten auf. Vorausschauende drahtlose Routingalgorithmen wie das Tropos PWRP (Predictive Wireless Routing Protocol) lösen dieses

Problem, indem sie neue Pfade durch das Netzwerk identifizieren, bevor die aktuellen Pfade schwächer werden. Darüber hinaus wird die nahtlose Mobilität im Tropos Wireless-Netzwerk durch eine sogenannte Make-before-Break-Konnektivität erreicht, wenn mobile Tropos-Router in Fahrzeugen eingesetzt werden. Diese „sanfte“ Übergabefunktion erstellt einen neuen Pfad durch das Netzwerk, während die bestehenden Pfade noch aktiv sind.

Sicherung von Kommunikationsnetzen

Da Bergwerksbetreiber zunehmend Kommunikationsnetze zur Überwachung und Steuerung von Hunderten von Automatisierungsgeräten und großen Außenanlagen einsetzen, stellen Online-Angriffe eine ernstzunehmende Gefahr für Tagebaue dar. Diese Feldautomatisierungsnetzwerke unterstützen diverse missionskritische Anwendungen wie etwa das Flottenmanagement. In einer typischen Bergwerks-Netzwerkarchitektur ist die Feldausrüstung über TCP/IP oder serielle Kommunikation mit den lokalen oder entfernten Leitwarten verbunden. Dies birgt potenziell die Gefahr von Online-Angriffen aus dem Feld auf die Leitwarte oder umge-

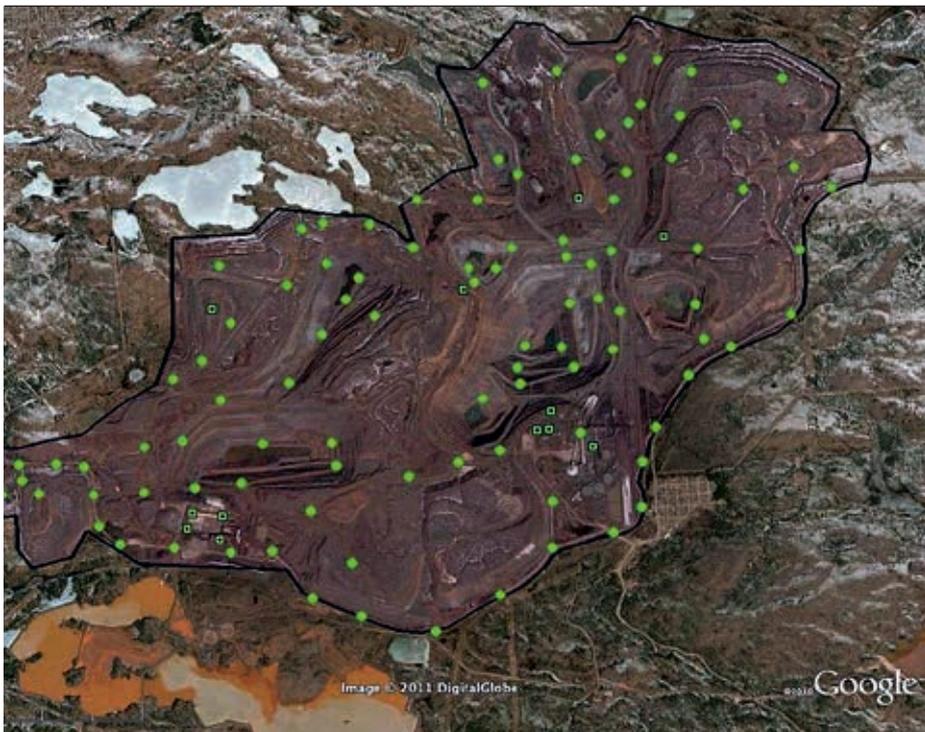


ABB Tropos Mesh-Router, die auf Anhängern rund um die Grube platziert werden, „finden“ einander automatisch und sichern eine umfassende Netzabdeckung in der gesamten Grube.

kehrt. Wo die Sicherheit in einem Feldnetzwerk implementiert ist, ist ebenso wichtig wie die Frage, was gesichert wird und wie es gesichert wird. Für einen maximalen Schutz muss die Sicherheit am Rande des Netzwerks ebenso gewährleistet sein wie näher am Kern des Netzwerks.

In einem Bergwerk kann dies durch Übertragung von Sicherheitsfunktionen der Unternehmensklasse in die Feldnetzwerkumgebung und die anschließende Ausdehnung der Sicherheit bis an die Netzwerk Grenzen erreicht werden. Unternehmenssicherheit ist ein mehrschichtiges, für mehrere Anwendungen geeignetes Sicherheitsmodell, das eine Reihe überlappender, standardbasierter Sicherheitsmechanismen nutzt, um einem umfassenden Schutz bereitzustellen. Diese Sicherheitsmechanismen sind übereinander geschichtet und überlappen sich absichtlich, um die Auswirkungen bei Versagen eines der Mechanismen zu minimieren und die Wahrscheinlichkeit einer Sicherheitsverletzung zu reduzieren.

Die wichtigsten funktionalen Sicherheitsanforderungen und entsprechenden Mechanismen sind:

- Netzwerk-Zugriffskontrolle durch IEEE 802.1x, MAC ACLs und 802.11i/WPA2 mit zentraler RADIUS-Serverauthentifizierung, um sicherzustellen, dass

Menschen und Geräte, die auf das Netzwerk zugreifen, explizit autorisiert sind, bevor sie Daten über das Netzwerk versenden.

- Schutz der Netzwerkressourcen und Endgeräte durch Firewalls, die unerwünschten bösartigen Datenverkehr blockieren und seine Verbreitung im Netzwerk begrenzen.
- Sichere durchgängige Datenübertragung mit AES-Verschlüsselung über virtuelle private Netzwerke (VPNs) zum Schutz gegen Lausch- und Mittelemannangriffe.
- Segmentierung und Priorisierung des Datenverkehrs zur effektiven Ausführung mehrerer Anwendungen über eine gemeinsame Infrastruktur bei gleichzeitiger Sicherung einer hohen Priorität für missionskritische Anwendungen und Schutz gegen DoS-Angriffe.
- Sichere Netzwerkkonfiguration und sicheres Netzwerkmanagement für ein flexibles Management und eine flexible Umsetzung von Sicherheitsrichtlinien innerhalb des Netzwerks.

Die einzigartige dezentrale Architektur ermöglicht die Implementierung dieser Funktionalität in jedem Element des Netzwerks. Bei der Inbetriebnahme von Tropos-Routern werden die integrierten Sicherheitsmechanismen bis an die Grenzen des Netzwerks und bis zu jedem Fahrzeug und Feldgerät übertragen,

wodurch das Netzwerk eine aktive Rolle beim Schutz der Feldgeräte gegen Online-Angriffe erhält.

Vorausschauend denken

Drahtlose ABB Tropos Mesh-Netzwerke helfen nicht nur dabei, die betrieblichen Herausforderungen im modernen Tagebau zu bewältigen, sondern schaffen auch einen langfristigen strategischen Mehrwert für den Kunden. Moderne Flottenmanagementanwendungen bilden die Grundlage für einen zukünftigen autonomen Betrieb, bei dem führerlose Fahrzeuge in der Grube von einer zentralen Leitwarte aus koordiniert und gesteuert werden. Die äußerst zuverlässige, skalierbare und für mehrere Anwendungen geeignete vermaschte Architektur ermöglicht Kunden in der Bergbauindustrie den Übergang vom Flottenmanagement zu einem vollständig autonomen Betrieb mit einem minimalen Mehrkostenaufwand.

Roman Arutyunov

ABB Power Systems,
Wireless Communication Networks
Sunnyvale, CA, USA
roman.arutyunov@nam.abb.com

Förder- programm

Schachtförderanlagen von ABB

TIM GARTNER – Mit einer Landfläche, die größer ist als die USA, aber nur einem Zehntel der Bevölkerung besitzt Kanada riesige Flächen ursprünglicher Landschaft. In dieser Umgebung hat die Industrie gelernt, die Störung der Natur auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Im Bergbau werden z. B. große Anstrengungen unternommen, um die natürlichen Ressourcen auf möglichst nachhaltige Weise zu erschließen, d. h. mit maximaler Energieeffizienz und minimaler Umweltbelastung. Ein Bereich, in dem die Technik besonders dazu beitragen kann, ist der Transport der Abbauprodukte an die Oberfläche. ABB beliefert die Bergbauindustrie seit Langem mit Fördermaschinen, die nicht nur in neuen Bergwerken installiert werden können, sondern sich auch zur Nachrüstung bestehender Betriebe mit modernster Fördertechnik eignen. Ein Einsatzgebiet der Fördertechnik von ABB ist der Kalibergbau.

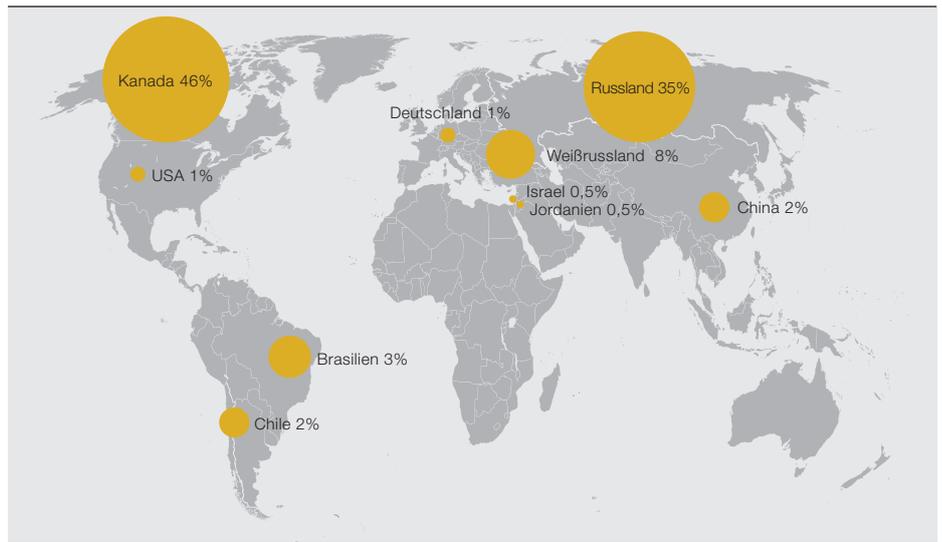
Titelbild

Energieeffizienz, Umweltbelastung und Nachhaltigkeit sind wichtige Faktoren bei der Wahl eines Fördersystems. Dank jahrelanger Entwicklungsarbeit bietet ABB eine umfassende Palette an Förderprodukten einschließlich fortschrittlicher Treibscheibenmaschinen.





1 Weltweite Kalisalzreserven gemäß United States Geological Survey.
(Der Anteil der übrigen Länder beträgt etwa 1 %.)



Während die Weltbevölkerung die Marke von sieben Milliarden übersteigt und viele Menschen immer mehr Wohlstand genießen, steigt die Nachfrage nach Nahrungsmitteln unaufhaltsam. Ohne Düngemittel wäre die Landwirtschaft längst nicht mehr in der Lage, mit der Nachfrage Schritt zu halten. Die drei wichtigsten Nährstoffe in der Landwirtschaft sind Kalisalz (Pottasche), Stickstoff und Phosphat. Von besonderem Interesse für die Bergbauindustrie ist Kalisalz, das sich nach der Verdunstung der Urozeane tief in der Erde abgelagert hat. Um dieses Salz abzubauen und mit minimaler Umweltbelastung sicher und effizient an die Oberfläche zu bringen, ist modernste Förder-technik erforderlich.

Kalisalz wird nur in 12 Ländern gewonnen, wobei über zwei Drittel der weltweiten Produktionskapazität und laut dem United States Geological Service fast 90 % der geschätzten Reserven in Kanada, Russland und Weißrussland zu finden sind → 1. Fast die Hälfte der weltweiten Reserven und 35 % der weltweiten Produktionskapazität befinden sich in der kanadischen Provinz Saskatchewan.

Treibscheiben- und Trommelfördermaschinen

Von den beiden Hauptarten von Schachtförderanlagen – Trommel- und Treibscheiben-Fördermaschinen – kommen bei den jüngsten ABB-Projekten im kanadischen Kalibergbau ausschließlich Treibscheibenmaschinen zum Einsatz.

Während 4- und 6-Seil-Maschinen am gängigsten sind, hat ABB Treibscheibenmaschinen mit bis zu 10 Seilen entwickelt.

Der Hauptzweck aller Fördermaschinen (ob Trommel oder Treibscheibe) ist es, eine an einem Stahlseil befestigte Last in einem Bergwerkschacht nach oben oder unten zu befördern. Bei der Last kann es sich um ein Fördergefäß für Erz (ein sog. Skip), einen Förderkäfig (für Personen, Werkzeuge, Maschinen und sonstiges Material) oder (bei bestimmten Arten von Fördermaschinen) Gegengewichte handeln. Ein Ende des Seils ist direkt mit dem Fördermittel (Skip, Käfig oder Gegengewicht) verbunden. Bei einem Treibscheibensystem ist das andere Ende des Seils mit einem weiteren hängenden Fördermittel auf der anderen Seite der Scheibe verbunden. Bei einem Trommelsystem hingegen ist das zweite Ende des Seils direkt mit einer Seiltrommel verbunden. Dreht sich die Trommel, wird das am Seil befestigte Fördermittel nach oben oder unten bewegt.

Anders als bei der Trommelfördermaschine wird das Seil bei der Treibscheibenmaschine nicht auf der Trommel aufgewi-

ckelt, sondern läuft nur um sie herum, während sie sich bewegt → 2. Das Prinzip ist das gleiche wie bei allen anderen Antriebsmechanismen mit Scheiben und Riemen und kommt auch bei den meisten Gebäudeaufzügen zum Einsatz. Die Leistung bzw. das Drehmoment des Motors wird durch mechanische Reibung von der Trommel/Scheibe auf das Stahlseil übertragen. Da das Seil nicht auf der Trommel aufgewickelt wird, können bei einer Treibscheibenmaschine mehrere Seile verwendet werden, um die Last zu tragen. Während 4- und 6-Seil-Maschinen am gängigsten sind, hat ABB Treibscheiben-Fördermaschinen mit bis zu 10 Seilen entwickelt → 3. Trommelfördermaschinen haben normalerweise nur ein Seil pro Trommel. In sehr tiefen Bergwerken oder besonderen Fällen werden auch zwei Seile pro Trommel verwendet.

ABB entwickelt und liefert Treibscheiben- und Trommelfördermaschinen, Seilscheiben, Skips und andere Komponenten für Schachtförderanlagen.

Treibscheibensysteme haben sich aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz und hohen Nutzlast als ideale Lösung für die kanadische Kaliindustrie erwiesen.

Aufrüstung von Schachtförderanlagen

Um steigende Produktionsmengen zu bewältigen, sind Bergwerksbetreiber häufig gezwungen, die Förderkapazität an ihren Schächten aufzurüsten. Manchmal muss dazu die gesamte Fördermaschine ausgetauscht werden. Da die Fördermaschine für den Abtransport des Produkts

Förderturm
Treibscheiben-Fördermaschine
Seilscheiben
Förderseile
Fördergefäße (Skips)

Die Nutzlast heutiger Treibscheibenmaschinen beträgt bis zu 65.000 kg. Das entspricht etwa 13 aufgewachsenen Afrikanischen Elefanten.

Die Motorleistung großer Treibscheibenmaschinen kann über 10.000 kW betragen. Dies entspricht etwa der Leistung von 44 großen Pkw.

Treibscheibenmaschinen können Lasten aus bis zu 2.000 m Tiefe heben. Das entspricht etwa der Höhe von sechs Eiffeltürmen.

In typischen Hochleistungs-Fördermaschinen kommen bis zu sechs Stahlseile mit 56 mm Durchmesser zum Einsatz, die aus Hunderten von Einzeldrähten bestehen. Ihre Gesamtlänge von über 5.300 km entspricht in etwa der Entfernung von New York nach London.

Treibscheibenmaschinen nutzen Unterseile zum Ausgleich des Seilgewichts. So ist lediglich für die Nutzlast Motorleistung erforderlich.

New York London

aus dem Bergwerk sorgt, bedeutet jede Aufrüstung eine Unterbrechung der Produktion. Folglich müssen Aufrüstungen in kürzestmöglicher Zeit durchgeführt werden. In einigen Fällen ist dies alles andere als einfach, da umfangreiche bauliche Veränderungen am vorhandenen Förderturm erforderlich sein können, um neue Fördermaschinen mit größerer Kapazität unterzubringen.

Zwei in eins

In einem Fall in Saskatchewan gab es zwei Fördermaschinen in einem Förderschacht. ABB erhielt den Auftrag, beide

Fördermaschinen genau auf dieselben Fundamente passen mussten. Und da die neue Fördertechnik erst installiert werden konnte, nachdem die alte abgebaut war, wurde ein enger Zeitplan zwischen ABB und dem Kunden abgestimmt.

Das Projekt wurde während zwei aufeinander folgender Sommerbetriebspausen durchgeführt. Im ersten Zeitraum wurde eine der Förderanlagen mit einer neuen Treibscheibenmaschine mit einem AC-Synchronmotor und Frequenzumrichter sowie einem neuen Steuerungs- und Bediensystem aufgerüstet. Gleichzeitig stattete ABB die andere Förderanlage, die mit einem thyristorbasierten DC-Antriebssystem eines Drittanbieters ausgerüstet war, mit einem digitalen Frontend sowie einem neuen Steuerungs- und Bediensystem aus. Die mechanische Aufrüstung der zweiten Förderanlage erfolgte in der nächsten Betriebspause, und später wurden der DC-Motor und das Thyristor-Stromrichtersystem durch einen neuen AC-Synchronmotor mit Frequenzumrichter ersetzt.

In luftiger Höhe

In einem zweiten Fall beauftragte der Kunde ABB damit, ein früheres Projekt in einem anderen Bergwerk zu wiederholen. Hier musste ein vollständig neues Maschinenhaus auf dem bestehenden Förderturm konstruiert und gebaut werden. Dies

Treibscheibensysteme haben sich aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz und hohen Nutzlast als ideale Lösung für die kanadische Kaliindustrie erwiesen.

ABB entwickelt und liefert Treibscheiben- und Trommelfördermaschinen, Seilscheiben und Skips.

Fördermaschinen aufzurüsten, aber den alten Förderturm und die Fundamente für die Maschinen beizubehalten. Dies bedeutete, dass die elektrischen und mechanischen Komponenten der neuen

Die elektrischen und mechanischen Komponenten der neuen Fördermaschinen mussten genau auf dieselben Fundamente passen. Und da die neue Fördertechnik erst nach dem Abbau der alten installiert werden konnte, war ein enger Zeitplan erforderlich.

war zwar mit erheblichen Bauarbeiten verbunden, bot aber eine ganze Reihe von Vorteilen:

- Die Größe und Kapazität der neuen Förderanlage war nicht durch die bestehenden Fundamente begrenzt, d. h. der Kunde konnte die am besten für die Infrastruktur des Schachts geeignete Fördermaschine wählen.
- Der Bau des neuen Maschinenhauses und die Installation der neuen Fördermaschine konnten ohne Unterbrechung der Produktion erfolgen. Die neue Maschine konnte ohne Seile installiert und in Betrieb genommen werden, während der Betrieb mit der alten Maschine weiterlief. So wurde eine kurze Übergangszeit gewährleistet.

Bei der neuen Fördermaschine handelte es sich um eine 4-Seil-Treibscheibenmaschine mit einem Durchmesser von 5,95 m mit zwei AC-Synchronmotoren und einem AC-Frequenzumrichter vom Typ ABB ACS6000. Ein neues Steuerungs- und Bediensystem wurde zur gleichen Zeit installiert und in Betrieb genommen.

Zu ebener Erde

Für eine Aufrüstung muss nicht unbedingt ein neues Maschinenhaus auf dem Förderturm gebaut werden. Es können auch

3 Eigenschaften von Treibscheiben- und Trommelfördermaschinen

	Treibscheiben-Fördermaschine	Trommelfördermaschine
Lasttragende Seile	Normalerweise 4 oder 6	Normalerweise 1, gelegentlich 2
Eignung für Bergwerke mit mehreren Ebenen	Gut mit Gegengewicht	Sehr gut
Maximale Fördertiefe	2.000 m (begrenzt durch Dauerfestigkeit des Förderseils)	3.000 m mit zwei Seilen
Motorleistung	Niedriger als entspr. Trommelmaschine	Höher als entspr. Treibscheibenmaschine
Typische Nutzlast (Kaliindustrie)	45 t (höhere und niedrigere Nutzlasten möglich)	30 t (höher und niedriger möglich)
Relative Kosten	Niedriger als entspr. Trommelmaschine	Höher als entspr. Treibscheibenmaschine
Aufstellungsort	Ebenerdig oder auf Förderturm	Fast immer ebenerdig
Förderturm/-gerüst	Schwerere Bauweise als Trommelmaschine	Leichtere Bauweise als entspr. Treibscheibenmaschine

ebenerdig installierte Fördermaschinen verwendet werden. In einem jüngsten Fall wurde ein ebenerdiges Maschinenhaus in der Nähe des vorhandenen Förderturms und des Förderschachts errichtet. Der vorhandene Turm wurde durch einen Anbau mit zwei Seilscheibensätzen zu je vier Scheiben erweitert. Ein vollständig geschlossener Fahrweg verbindet das neue ebenerdige Maschinenhaus mit dem Anbau auf dem Turm. Gleichzeitig wurde ein neues Steuerungs- und Bediensystem installiert und in Betrieb genommen.

Auch hier wurde die Produktion mit dem vorhandenen Fördersystem nicht durch den Bau der neuen Förderanlagen unterbrochen.

Auf der grünen Wiese

Projekte auf der grünen Wiese sind im Allgemeinen einfacher, da die neuen Fördersysteme nicht an eine bestehende Produktions- oder Serviceinfrastruktur angebunden werden müssen. In einem kürzlich realisierten Projekt wurden zunächst Fördertürme aus Gleitschalungsbeton über den neu abgeteufte Schächten errichtet. Anschließend installierte ABB vollständig neue Schachtfördersysteme einschließlich der mechanischen Ausrüstung, AC-Synchronmotoren und ACS6000-Frequenzumrichter sowie Steuerungs- und Bediensystemen.

Bei den Fördermaschinen handelte es sich um 4-Seil-Maschinen mit 5 m Durchmesser, die jeweils von einem AC-Synchronmotor mit 7 MW und einem Frequenzumrichter von Typ ACS6000 angetrieben werden. Die Fördermaschine für den Servicebetrieb wurde Ende 2013 in Betrieb genommen und befindet sich

im kommerziellen Einsatz. Die Fördermaschine für den Produktionsbetrieb wird 2015 ihren kommerziellen Betrieb aufnehmen.

ABB als Fördermaschinenlieferant

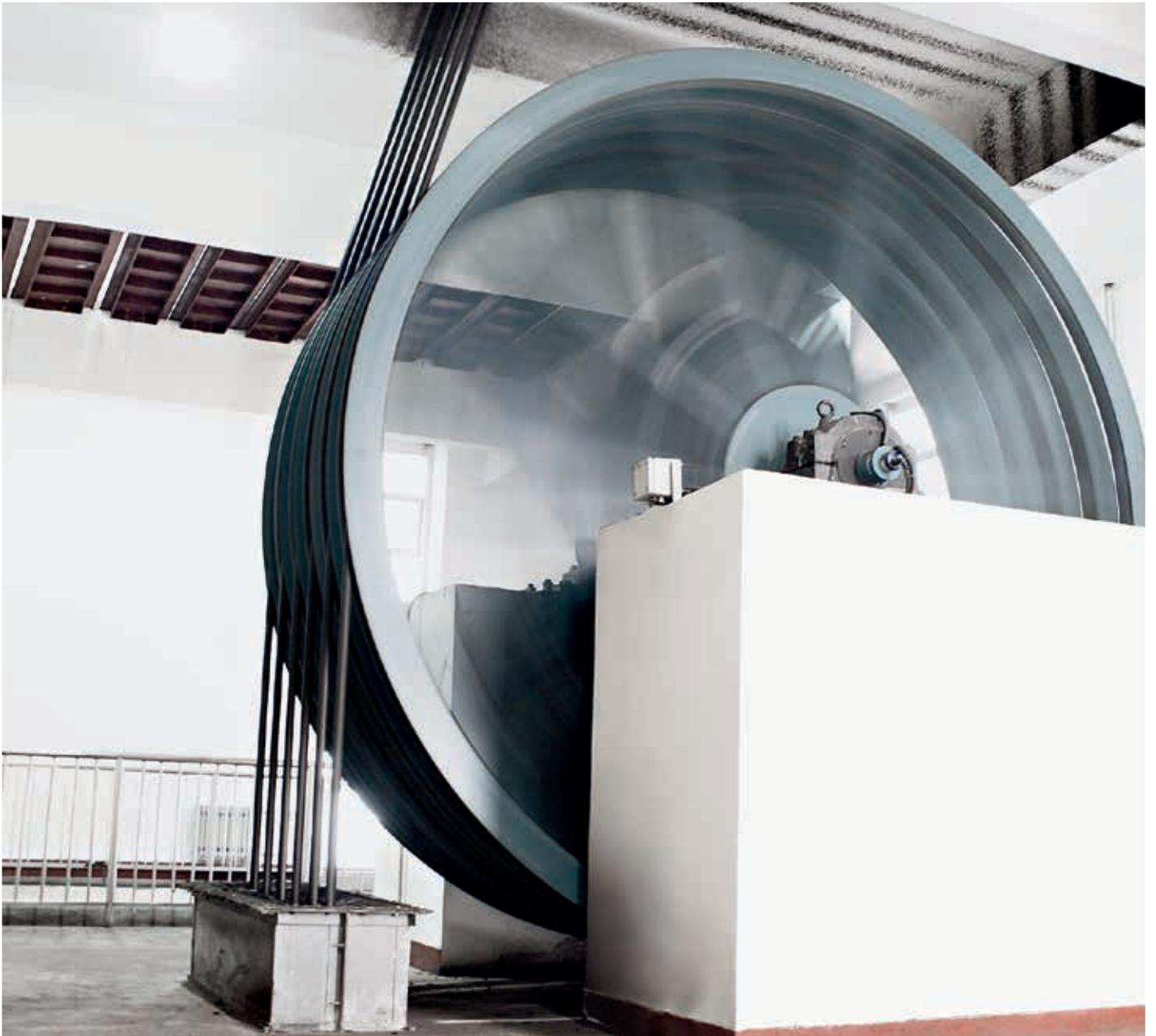
ABB arbeitet eng mit Kunden in der Kaliindustrie zusammen, um eine möglichst schnelle und wirtschaftliche Auswahl, Planung und Installation zur Aufrüstung von Produktions- und Service-Förderanlagen mit modernster und energieeffizienter Technik zu gewährleisten. Dies bietet dem Kunden die Möglichkeit:

- die Förderkapazität für Kalisalz erheblich zu steigern,
- die Ersatzteilbevorratung zu rationalisieren, da die Hauptkomponenten der Förderanlagen (Antriebe, Motoren, Transformatoren, Lager usw.) in den meisten Fällen identisch sind,
- betriebliche Vorteile zu sichern. So können für funktionell identische Fördermaschinen gemeinsame Wartungskonzepte und -verfahren genutzt werden.

Fördermaschinen von ABB werden außer im Kalibergbau natürlich auch zur Förderung vieler anderer Bodenschätze wie Kohle, verschiedene Erze usw. eingesetzt. ABB wird ihre Schachtfördertechnik auch in den kommenden Jahren weiterentwickeln und mit Kunden zusammen daran arbeiten, eine möglichst nachhaltige Verbesserung des Förderbetriebs zu ermöglichen.

Tim Gartner

ABB Underground Mining and Mill Drive Systems
Dollard-Des-Ormeaux, Kanada
tim.gartner@ca.abb.com



Neue Wege in der Instandhaltung

Fortschrittliche Servicelösungen für den Bergbau und die Mineralaufbereitung

EDUARDO LIMA, JESSICA ZÖHNER, ALIREZA OLADZADEH – Wie viele andere Branchen ist auch der Bergbau angesichts schwieriger und sich rasch verändernder Produktions- und Marktumfelder gezwungen, seine Rentabilität kontinuierlich zu steigern. Eine Möglichkeit ist die Reduzierung der Kosten und Steigerung der Produktivität durch langfristige Verbesserung der Effizienz von Produktionsmitteln mithilfe fortschrittlicher

Instandhaltungs- und Servicestrategien. Dies ist ein Ansatz, den ABB seit Langem unterstützt. ABB bietet ein breites Portfolio von Serviceleistungen, die von langfristigen präventiven und prädiktiven Servicevereinbarungen bis hin zu reaktiven Services wie die Ersatzteilbereitstellung im Notfall reichen. Das Portfolio beinhaltet modernste Instandhaltungstechnologien, von denen viele von ABB selbst entwickelt wurden.

Eine moderne Service- und Instandhaltungsstrategie ist entscheidend für die langfristige Rentabilität jedes Bergbauunternehmens.

1 Die Instandhaltung von Förderbändern ist kostenintensiv. ABB arbeitet zurzeit an einer Lösung zur Fernüberwachung von Förderbändern.



Die Produktivität in einem Bergwerksbetrieb lässt sich sehr wirksam durch eine effiziente Nutzung der Produktionsmittel steigern. Dies kann mithilfe von Automatisierungs-, Fernbedienungs-, Diagnose- und Visibility-Tools sowie mithilfe von Technologien erreicht werden, die durchgängige Informationen über den Zustand der Bergwerksausrüstung in Echtzeit liefern. Eine Service- und Instandhaltungsstrategie, die dies bietet, ist entscheidend für die langfristige Rentabilität jedes Bergbauunternehmens – eine Tatsache, die auch ABB längst erkannt hat.

ABB im Bergbau

Das Know-how von ABB im Bereich Service und Instandhaltung hat sich im Laufe der vielen Jahre, die das Unternehmen fortschrittliche Produkte und Systeme an Bergbaubetriebe liefert, immer weiterentwickelt.

Zu den Produkten von ABB gehören hier:

- Schachtförderanlagen für einen schnellen, sicheren und zuverlässigen Transport von Erz, Personen und Ausrüstung zwischen der Grube und der Oberfläche.

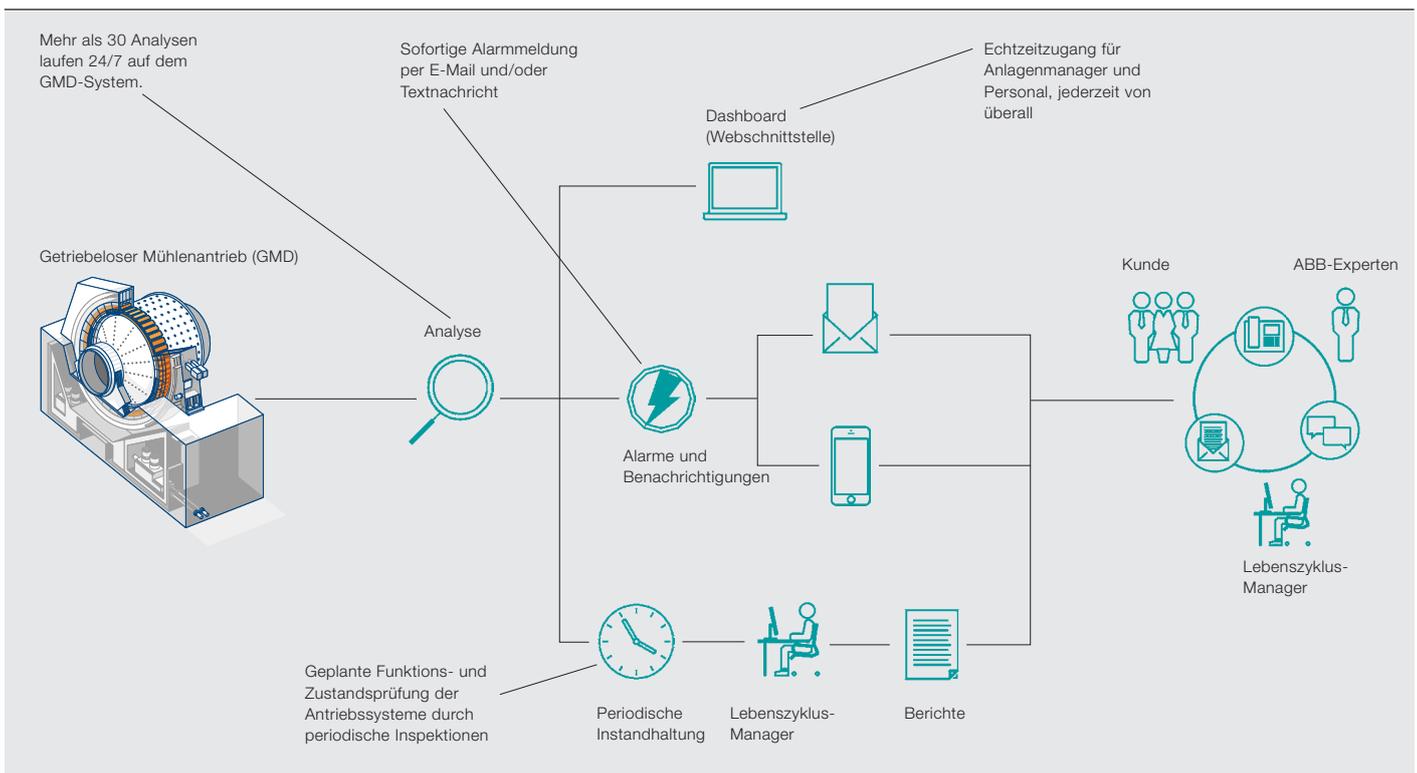
- Drehzahlgeregelte Mahllösungen wie getriebelose Mühlenantriebe, die die riesigen Erzmühlen antreiben und ein Höchstmaß an Verfügbarkeit und Energieeffizienz bieten.
- Drehzahlgeregelte Antriebssysteme, die einen kostengünstigen und energieeffizienten Betrieb von Förderbändern, Schürfkübelbaggern und Schaufelbaggern ermöglichen.
- Komplett- und vollständig integrierte mess-, leit- und elektrotechnische Lösungen zur Versorgung, Automatisierung und Steuerung des gesamten Bergwerks oder Produktionsstandorts.
- Softwareprodukte, die die Automatisierungs-, elektrischen und Unternehmenssysteme integrieren, um eine kollaborative Arbeitsumgebung für die gesamte Wertschöpfungskette von der Grube bis zum Markt zu schaffen.

Der installierte Bestand von ABB in Bergwerken rund um die Welt umfasst über 600 Schachtförderanlagen, 125 getriebelose Mühlenantriebe, über 300 Förderbandsysteme und über 80 komplette mess-, leit- und elektrotechnische Installationen → 1. Um ihren Kunden dabei zu helfen, diese Betriebsmittel in einwandfreiem Zustand zu halten, bietet ABB ein breites Portfolio von Serviceleistungen, die von langfristigen präventiven und prä-

Titelbild

Fortschrittliche Instandhaltungs- und Servicestrategien sind für moderne Bergbauausrüstungen wie diese Seilscheibe unerlässlich.

2 Die Echtzeitanalysen und Diagnosen des Antriebssystems nutzen Daten, die vom Leitsystem und von der Antriebsregelung erfasst werden.



diktiven Servicevereinbarungen bis hin zu reaktiven Services wie der Bereitstellung von Ersatzteilen im Notfall reichen.

Das Portfolio beinhaltet modernste Instandhaltungstechnologien, von denen viele von ABB selbst entwickelt wurden. Dazu gehören die Fernüberwachung und Ferndiagnose, „Fingerprint“-Analysen von Anlagen und Betriebsmitteln zur Erkennung von leistungsschwachen Assets und Asset-Optimierungsservices zur Minimierung der Kosten von Assets über deren Lebenszyklus hinweg. Ein Blick auf einige dieser Servicetechnologiebereiche zeigt, wie Service- und Instandhaltungstechnologien zur Steigerung der Rentabilität beitragen können.

ServicePort™

ABB hat die sicherere, remote-basierte Serviceplattform ServicePort™ entwickelt, die es Kunden und ABB-Experten ermöglicht, bestimmte Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) darzustellen, zusammenzufassen und zu überwachen, um eine maximale Leistungsfähigkeit von Betriebsmitteln und Prozessen sicherzustellen. Durch automatische Erfassung, Analyse und Überwachung der KPIs sind Benutzer in der Lage, informierte Entscheidungen zu bestimmten Assets und zum Produktionsprozess zu treffen.

Das Ziel ist die Verbesserung der Verfügbarkeit, Prozesseffizienz und Produktqualität bei gleichzeitiger Reduzierung der Risiken und Energiekosten.

ServicePort kann zur Bereitstellung verschiedener Serviceanwendungen, sogenannter Performance Service Channels, eingesetzt werden. Diese erfassen und analysieren automatisch bestimmte Betriebsmittel- oder Prozessdaten, um daraus entsprechende KPIs abzuleiten. Es gibt drei Kategorien von Performance Service Channels:

- Equipment Performance Services
 - überwachen die Nutzung und Leistung von ABB-Produkten wie Leit- und Antriebssystemen.
- Process Performance Services
 - diagnostizieren und verbessern Produktions- oder Geschäftsprozesse, z. B. die Performance von Regelkreisen und die Informationssicherheit.
- Industry Performance Services
 - diagnostizieren und verbessern branchenspezifische Betriebsmittel oder Prozesse, z. B. Schachtförderanlagen im Bergbau.

ABB ServicePort ist eine einzigartige Komplettlösung – alle Channels arbeiten zusammen und ermöglichen ABB die Konfiguration von Servicestrategien, die

auf die Bedürfnisse der Kunden zugeschnitten sind.

Ein weiteres Produkt, das ABB speziell für die Bergbau- und Mineralaufbereitungsindustrie entwickelt hat, ist RDS (Remote Diagnostics Services) zur Instandhaltung, Prüfung und Analyse von elektrischen Antrieben in Mahlsystemen (getriebelose Mühlenantriebe, Zahnkranz-Mühlenantriebe und Hochdruck-Mahlwalzen).

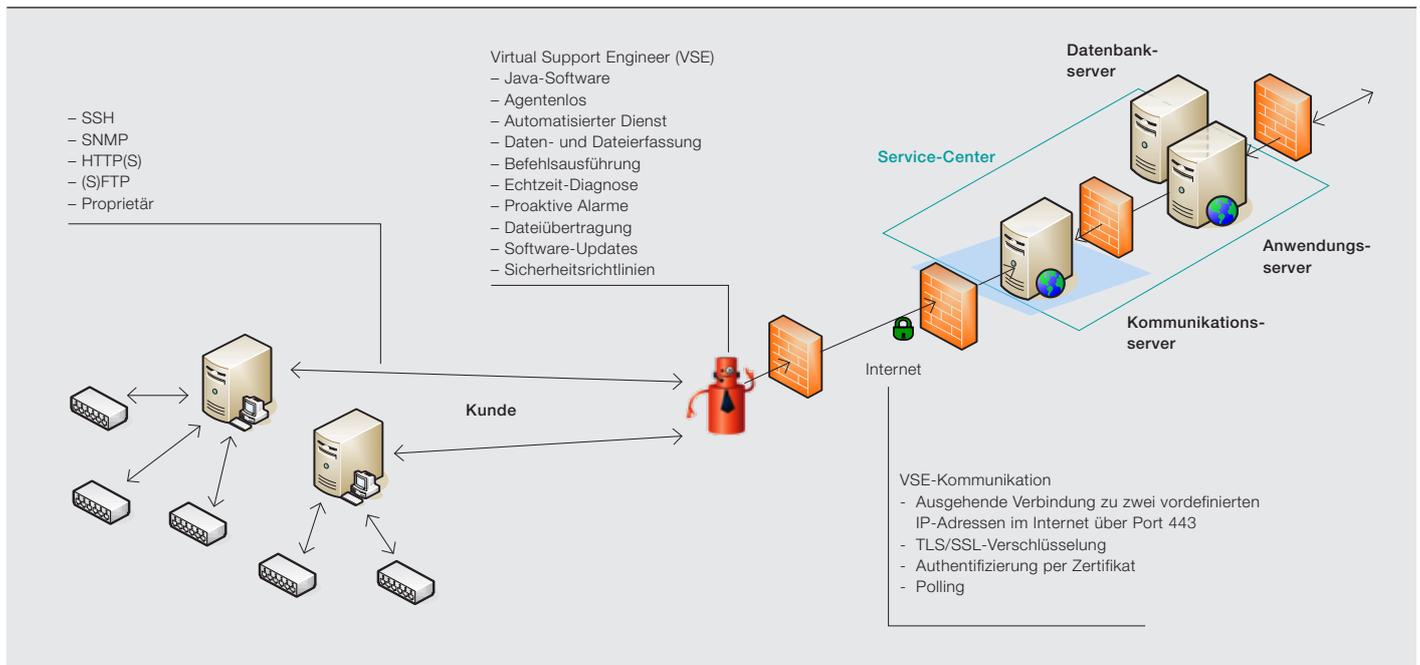
Der Service umfasst folgende drei Komponenten:

Remote-Troubleshooting

ABB bietet ihren Kunden schon seit Langem rund um die Uhr Unterstützung durch Experten (über ABB SupportLine) und Möglichkeiten zur Fehlerbehebung aus der Ferne (Remote-Troubleshooting). Diese beiden Services stehen für die meisten energie- und automatisierungstechnischen ABB-Produkte im Bergbau wie Mahlsysteme, Schachtförderanlagen, Anlagenautomatisierungssysteme, drehzahlgeregelte Antriebe usw. zur Verfügung.

ABB SupportLine bietet Kunden Zugang zum wohl umfangreichsten und fortschrittlichsten Supportprogramm für den Bergbau. Durch den Service bekommen Kunden direkten Zugang zu technischen

3 Die Architektur von RDS ist auf ein Höchstmaß an Sicherheit für das Kundensystem ausgelegt.



Supportingenieuren von ABB, die über das notwendige Wissen, die Erfahrung und die Ressourcen verfügen, um Supportanfragen sofort zu bearbeiten.

Remote-Troubleshooting erweitert das Konzept des Remote-Supports um eine weitere Dimension. Es ermöglicht ABB-Experten den Zugriff auf ABB-Produkte – z. B. ein Mahlsystem oder eine Förderanlage – über eine sichere Remote-Verbindung, um ein vorliegendes Problem zu beheben. Dies beschleunigt den Support, verhindert unnötige Reisen und bietet Spezialisten aus verschiedenen Bereichen die Möglichkeit, gleichzeitig an einem Problem zu arbeiten.

Periodischer Instandhaltungsbericht

Hierbei handelt es sich um eine planmäßige Überprüfung der Funktion und des Zustands von Antriebssystemen durch periodische Inspektionen. Die Ergebnisse werden in einem periodischen Bericht dargelegt, der den Zustand des Systems beschreibt.

Zustandsüberwachung

Ein Zustandsüberwachungs-Dashboard ermöglicht Kunden und ABB-Experten den Zugriff auf alle Betriebsdaten des Antriebssystems in Echtzeit → 2.

Außerdem verfügt RDS über ein Analysetool, das kontinuierlich und automatisch den Gesamtbetriebszustand untersucht. Über 30 Analysen laufen kontinuierlich auf

dem Antriebssystem, um die Performance des Assets zu optimieren und geplante und ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen zu reduzieren. Trends und Prognosen werden rund um die Uhr mithilfe modernster prädiktiver Methoden erstellt.

RDS basiert auf einer Remote-Access-Plattform, die eine sichere Verbindung zum Bergwerksstandort ermöglicht. Die Plattformarchitektur umfasst ein Service-Center, eine lokale Anwendung namens Visual Support Engineer (VSE) und Feldgeräte. Das Service-Center ist ein Webanwendungsserver, der den Kern des Systems bildet und als Wissens-Repository, Steuerzentrale und Kommunikationsknotenpunkt fungiert. Die lokale Anwendung (VSE) ist eine beim Kunden installierte Softwareanwendung, die unterstützte Geräte und Systeme überwacht. Die Feldgeräte umfassen alle physischen Geräte innerhalb des Kundennetzwerks → 3.

Alle RAP-Benutzer werden durch strenge Berechtigungen verwaltet, Daten werden verschlüsselt und Supportscenarios in Berichten festgehalten. Fernzugriffssitzungen werden vom Kunden gesteuert.

Asset-Management und -Optimierung

Laut den Technologie- und Branchenanalysten der ARC Advisory Group ist eine reaktive Instandhaltung fünfmal teurer als eine präventive Instandhaltung und 10-mal teurer als ein prädiktives (vorausschauendes) Asset-Management. Eine

prädiktive Instandhaltung wird auf der Grundlage des Zustands eines Betriebsmittels (Assets) ausgelöst und nicht nach Ablauf einer bestimmten Zeit oder einer bestimmten Zahl von Betriebszyklen. Dies macht sie erheblich kostengünstiger [1].

ARC Advisory definiert zwei Arten von Managementsystemen für Betriebsanlagen (Plant Asset Management, PAM): eines für Produktionsmittel und eines für Automatisierungsmittel. PAM-Systeme sind definiert als Kombination von Hardware, Software und Services, die den Zustand von Assets überwachen, um potenzielle Probleme zu erkennen, bevor sie eskalieren.

ABB deckt beide Arten von Assets (Produktion und Automatisierung) mit einem einzigen Produkt ab, das speziell für den Bergbau entwickelt wurde. Die bewährte Lösung bietet Funktionen für die Echtzeit-Überwachung, Benachrichtigung und Optimierung der Instandhaltungsabläufe für die Automatisierungs- und Anlagenausstattung sowie für die Feldgeräte, IT-Assets und den Produktionsprozess. Sie stellt sämtliche Informationen aus den verschiedenen Automatisierungs- und Überwachungssystemen in einer Schnittstelle und im richtigen Kontext für jede Kategorie von Benutzer – Betrieb, Instandhaltung, Engineering und Management – zusammen und liefert somit einen umfassenden Überblick über den Funktionszustand und das Leistungsvermögen jedes Assets.



Die ABB Asset-Monitor-Anwendung analysiert die Daten in Echtzeit. Die Analyse erfolgt durch eine maßgeschneiderte Überwachungslogik für jede Gerätefamilie. Die Logik berücksichtigt Prozessgrößen bzw. -software, Herstellernenddaten, Parameter und andere technische Standards. Sie wird unter Verwendung von

indem sie zeigt, welche Betriebsmittel vornehmlich behandelt werden müssen.

Dank ihres umfangreichen Portfolios von energie- und automatisierungstechnischen Produkten und Systemen ist ABB in der Lage, einzigartige Funktionen im Bereich Asset-Management und -Opti-

mierung anzubieten, die sich über alle Betriebsmittel im Bergbau erstrecken: Instrumentierung, elektrische Anlagen, Regelkreisüberwachung, Überwachung der Anlagenausstattung, Integration von computerge-

Eine reaktive Instandhaltung ist fünfmal teurer als eine präventive Instandhaltung und 10-mal teurer als ein prädiktives Asset-Management.

Fehleranalysewerkzeugen wie der Fehlerbaumanalyse (FTA) und einem hierarchischen Diagramm der Ausrüstung entwickelt. Die FTA zeigt Folgen von verschiedenen Ereignissen auf, die mit einem bestimmten Ausfall oder „Top-Ereignis“, d. h. einem ungewöhnlichen Systemzustand, einhergehen. Dabei wird eine logische Baumstruktur erstellt, die die Ursachen von Folgeereignissen mithilfe von logischen Verknüpfungen und Verzweigungen darstellt.

Eine Kritikalitätsanalyse – eine systematische Methodik zur Klassifizierung der Kritikalität von Betriebsmitteln – kann zur Verbesserung der Analyse beitragen,

stützten Instandhaltungsmanagementsystemen (CMMS), Überwachung von mechanischen Systemen und Schwingungen sowie kundenspezifische Asset-Überwachung.

Fingerprints

Bei einer Fingerprint-Analyse werden die Leistungsfähigkeit von Betriebsmitteln, die Effektivität der Instandhaltung, die Optimierung der Prozessführung und die Gesamtanlageneffektivität (OEE) untersucht. Im Gegensatz zu traditionellen Anlagenaudits, die Wochen oder Monate dauern können, nimmt die Fingerprint-Analyse vor Ort nur wenige Tage in Anspruch.

Der daraus resultierende „Fingerabdruck“ der Anlage zeigt, wie effizient die Prozessautomatisierung und Elektrifizierung arbeiten und wie gut die Produktionsprozesse gesteuert werden. Diese Informationen werden außerhalb des Standorts analysiert. Empfehlungen für Verbesserungen werden gegeben, und die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen bei Umsetzung der Veränderungen werden berechnet.

Ist keine umfassende Überprüfung erforderlich, kann auch eine eingehende ausrüstungsspezifische Fingerprint-Analyse, z. B. der Elektrik und Mechanik von Schachtförderanlagen, durchgeführt werden.

Service macht den Unterschied

ABB besitzt langjährige Erfahrung und fundierte Kenntnisse in den Technologien, die Bergwerke und Mineralaufbereitungsanlagen antreiben und automatisieren → 4. Über Servicevereinbarungen kann diese Expertise Kunden in der Bergbauindustrie dabei helfen, ihre Produktivität durch effiziente Nutzung ihrer Produktionsmittel zu steigern. ABB entwickelt ständig neue Servicetechnologien und -produkte, die zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Assets und der Rentabilität von Bergwerken beitragen. Durch Bündelung dieser Services und Technologien in eine maßgeschneiderte langfristige Servicevereinbarung mit dem Kunden ist ABB in der Lage, ihr gesamtes Know-how anzubieten und als strategischer Instandhaltungspartner zu fungieren.

Eduardo Lima

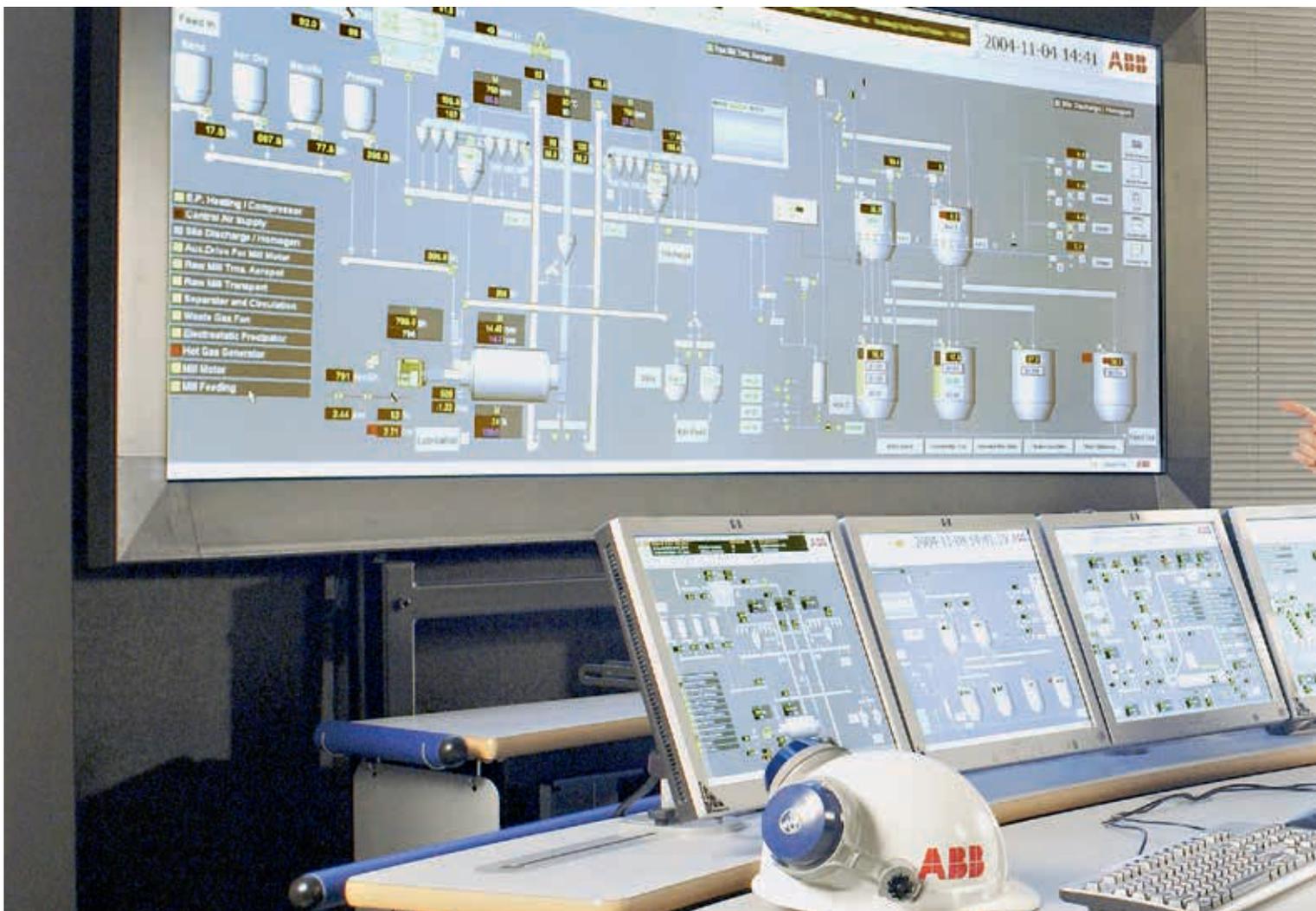
ABB Process Automation, Mining Service
São Paulo, Brasilien
eduardo.lima@br.abb.com

Jessica Zöhner

Alireza Oladzadeh
ABB Process Automation, Mining Service
Baden-Dättwil, Schweiz
jessica.zoehner@ch.abb.com
alireza.oladzadeh@ch.abb.com

Literaturhinweis

[1] „Plant Asset Management Systems – Worldwide Outlook: Market analysis and forecast through 2016“. ARC Advisory Group. Dezember 2012



Gehobene Regelung

MPC und ihre Implementierung mit
ABB Extended Automation System 800xA

EDUARDO GALLESTEY, MICHAEL LUNDH, TOM ALLOWAY, RICCARDO MARTINI, MICHAEL STALDER, RAMESH SATINI – Die modellprädiktive Regelung (MPC) ist ein bewährtes Verfahren für die gehobene Prozessregelung (APC), dessen Ursprünge bis in die 1970er Jahre [1, 2] zurückreichen. Die MPC eignet sich erwiesenermaßen zur Realisierung von Regelungslösungen mit Nebenbedingungen, Vorsteuerungen und Rückkopplungen zur Behandlung von Mehrgrößenprozessen mit Verzögerungen und Prozessen mit stark interaktiven Regelkreisen → 2. Diese Arten von Regelungsproblemen werden in vielen industriellen Anwendungen erfolgreich bewältigt [3].



Die Optimierung ist eine inhärente Fähigkeit eines MPC-Reglers.

Der Einsatz der modellprädiktiven Regelung (MPC) bietet viele Vorteile. So reduziert sie die Schwankungen in den Prozessgrößen, d. h. es können Sollwerte gewählt werden, die näher an den Leistungsgrenzen liegen, was wiederum den Durchsatz und den Profit erhöht. Die MPC verleiht Lösungen einen strukturierten Ansatz, die sonst aus Kombinationen von Vorsteuerungen und Rückkopplungen mit PID-Reglern (Proportional-Integral-Differential-Reglern), möglicherweise mit Übersteuerungsfunktionen, bestehen würden.

Weitere Vorteile der MPC sind:

- Vergrößerung des Prozesswissens (Schätzung versteckter Variablen)
- Höherer Automatisierungsgrad: entlastet das Bedienpersonal, das sich auf wichtigere Aufgaben konzentrieren kann

Titelbild

Die MPC automatisiert viele Leitwartenfunktionen, sodass sich das Bedienpersonal auf wichtigere Aufgaben konzentrieren kann.

- Erweiterung der Regelstrategie, z. B. zur Optimierung des spezifischen Energieverbrauchs

Die Optimierung ist eine inhärente Fähigkeit eines MPC-Reglers → 2. Beispiele hierfür finden sich unter anderem in Mischanlagen, Mühlen, Drehhöfen, Kesseln und Destillationskolonnen.

MPC-Technologie

Die drei Hauptkomponenten in einer MPC aus Benutzersicht sind:

- Das Anlagenmodell
- Eine Zielfunktion
- Ein Zustandsschätzer
- Ein Algorithmus zum Lösen von Optimierungsproblemen mit Nebenbedingungen

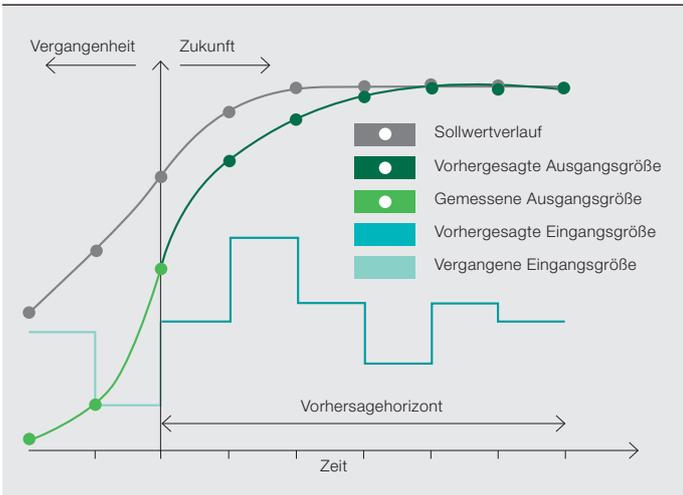
Die folgenden Schritte werden auf zyklischer Basis durchgeführt und in gleichmäßigen Abständen wiederholt, wobei die Abtastzeit entsprechend dem Zeitmaßstab des zu regelnden Prozesses gewählt wird:

- Mithilfe eines Zustandsschätzers wird der Istzustand des Prozesses aus

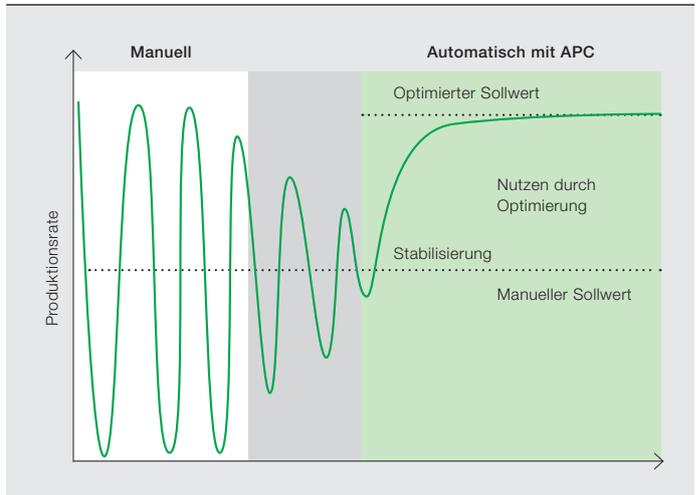
aktuellen und vergangenen Messungen sowie dem Zustand bei vorherigen Abtastungen geschätzt. Bewährte Methoden hierfür sind Kalman-Filter und die Zustandsschätzung mit gleitendem Horizont (MHE). Der geschätzte Zustand $\hat{x}(k)$ wird als möglichst genaue Annäherung an den mitunter unmessbaren Zustand des realen Prozesses als Ausgangspunkt für die Optimierung im nächsten Schritt verwendet.

- Das Anlagenmodell kann dazu verwendet werden, die zukünftigen Verläufe (Trajektorien) der Ausgangsgrößen für eine bestimmte Folge/Trajektorie zukünftiger Regelsignale vorherzusagen. Die Optimierung bestimmt das zukünftige Regelsignal so, dass die Zielfunktion minimiert wird. Dabei können auch Nebenbedingungen für die Eingangs- und Ausgangsgrößen des Prozesses berücksichtigt werden.
- Schließlich wird die erste Instanz für jedes errechnete zukünftige Regelsignal auf den Prozess angewandt.

1 Vergangene und zukünftige Verläufe (Trajektorien) in einer MPC

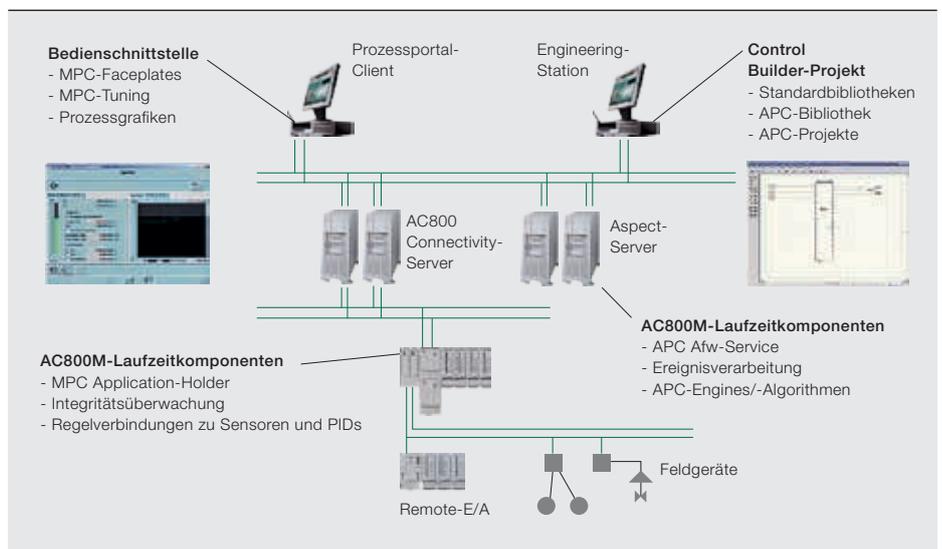


2 Optimierung durch Advanced Process Control (APC)



Die Verwendung der quadratischen Form in der Zielfunktion sorgt für ein „gutmütiges“ Verhalten des Regelungsproblems.

3 System 800xA APC im Überblick



Hierbei ist zu bemerken, dass die Zielfunktion normalerweise eine gewichtete Summe von Abweichungen in den Ausgangsgrößen der Anlage und den Inkrementen der Regelsignale darstellt. Außerdem kann es lineare Ausdrücke für die Minimierung oder Maximierung bestimmter Variablen geben. Die Verwendung der quadratischen Form in der Zielfunktion sorgt für ein „gutmütiges“ Verhalten des Regelungsproblems.

Traditionelle Implementierung von MPC

Die MPC wird bei ABB seit Langem für die Prozessführung eingesetzt, anfänglich noch unter Verwendung von Drittanbieterlösungen. Später wurden Lösungen mithilfe der ABB-Produkte Predict & Control und Expert Optimizer implementiert. Typischerweise liefert die MPC Sollwerte für die unterlagerten, kaskadierten PID-Regler. Üblicherweise läuft die MPC dabei auf einem separaten Server, der nicht Teil des verteilten Prozessleitsystems (PLS) ist. Der

Austausch der Signaldaten mit dem PLS erfolgt normalerweise über OPC. Messdaten bestehend aus Prozess- und Störgrößen werden an die MPC übermittelt, und die Ausgangsgrößen der MPC, die sogenannten Stellgrößen, werden an das PLS gesendet.

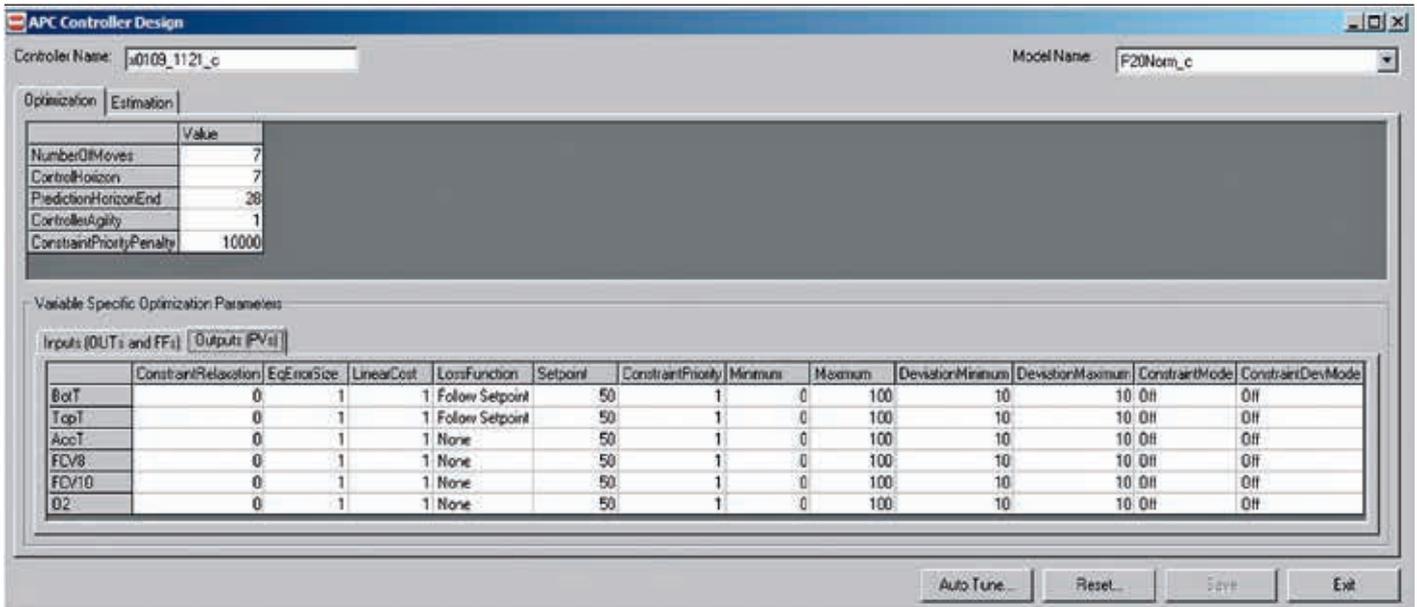
Doch damit diese Lösungen funktionieren können, müssen eine Reihe zusätzlicher Signale zwischen dem PLS und der MPC auf dem externen Server ausgetauscht werden. Diese enthalten z. B. Informationen darüber, welche PID-Regler der ersten Ebene einen Sollwert von der MPC akzeptieren und ob das Ausgangssignal des PID gesättigt ist. Außerdem müssen Daten zwischen der MPC und den Bedieneranzeigen übertragen werden. Eine weitere Information, die ausgetauscht werden muss, ist der Status der MPC. Hier wird häufig ein „Herzschlagsignal“ verwendet, um anzuzeigen, dass die externe MPC aktiv ist. Diese gesamte Kommunikation

muss konfiguriert werden, bevor der Techniker damit beginnen kann, sich mit dem Regelungsproblem zu befassen. Dies muss auch passieren, bevor entschieden werden kann, ob Signale zur MPC hinzugefügt oder entfernt werden sollen. Ohne Zweifel war die „Hemmschwelle“ zum Einsatz von MPC erheblich.

Advanced Process Control in System 800xA

Das neue Produkt, System 800xA APC (APC steht für Advanced Process Control = gehobene Prozessregelung), ist ein vollständig in Extended Automation System 800xA integrierter MPC-Regler, der als Systemerweiterung erhältlich ist → 3. Darüber hinaus gibt es den Model Builder, ein Tool zur Modellierung, Reglereinstellung und Durchführung von Simulationen.

System 800xA APC beinhaltet außerdem ein Steuermodul für einen MPC-Regler im AC 800M-Controller. Mithilfe dieses Moduls



lässt sich der MPC-Regler auf einfache Weise mit Messsignalen und nachgeschalteten PID-Reglern verbinden. Ist dies erfolgt und die Anwendung auf den AC 800M-Controller heruntergeladen, kann die MPC manuell mithilfe vorkonfigurierter Bedieneranzeigen und grafischer Bedienfelder (sog. Faceplates) betrieben werden. Die Verbindungen zwischen der MPC und den anderen Objekten werden mithilfe von „Regelungsverbindungen“ hergestellt. Dies sind bidirektionale Mehrsignalverbindungen, über die nicht nur Signalwerte, sondern auch die Booleschen Informationen zu den Betriebszuständen für die nachgeschalteten PID übertragen werden.

System 800xA nutzt die vollständige Infrastruktur von System 800xA. Da ein MPC-Regler mitunter hohe Anforderungen an die Rechenleistung stellt, kann die Ausführung des APC-Diensts für die MPC-Engine auf jeden beliebigen Server innerhalb des 800xA-Systems verteilt werden. Bei Bedarf kann zur Erhöhung der Zuverlässigkeit auch ein redundanter Dienst konfiguriert werden. Darüber hinaus stellt die Infrastruktur von System 800xA die notwendige Überwachung bereit, und sämtliche Ereignisse und Unregelmäßigkeiten werden von der Alarm- und Ereignisfunktionalität erfasst.

Weitere Vorteile von System 800xA APC sind:

- Es baut auf bereits etablierten ABB-Produkten auf.
- Es gibt einen Migrationspfad für Regler von Predict & Control (P&C) und Expert Optimizer.

- Es wird eine Struktur für die MPC-Anwendung durchgesetzt, die die Wartung vereinfacht, da alle entsprechenden Bestandteile an einem Ort gespeichert sind.

Mit diesem neuen Produkt können sich Regelungstechniker nun auf das Regelungsproblem konzentrieren und alles andere der Plattform überlassen.

Konfiguration von System 800xA APC

Der MPC-Regler wird als Systemerweiterung für System 800xA im Paket mit einer Bibliothek und einem Dienst angeboten. Die Konfiguration einer Instanz des MPC-Reglers in System 800xA APC beginnt im 800M Control Builder. Nach Aufschalten der Prozessgrößen (Messwerte), Stellgrößen (Reglerausgangssignale) und Vorsteuergrößen (messbare Störungen) kann die Anwendung auf einen 800xA-Controller heruntergeladen werden. Normalerweise werden die MPC-Stellgrößen auf externe Sollwerte für kaskadierte PID-Regler der ersten Ebene aufgeschaltet.

Damit wurde Folgendes erreicht:

- Die MPC kann manuell von Faceplates aus betrieben werden, und alle Signale können in Faceplates dargestellt werden. Dies ist z. B. zum Testen der Anlage nützlich, um Daten für eine empirische Modellierung zu gewinnen.
- Eine Überwachung ist automatisch gewährleistet für die Datenübertragung zwischen dem Steuermodul und dem 800xA-Dienst für die MPC-Engine.
- Durch die Verwendung von Regelungs-

verbindungen zwischen der MPC und den kaskadierten PID-Reglern erkennt die MPC automatisch, wenn ein PID nicht im automatischen Modus mit einem externen Sollwert arbeitet und wenn Signale im PID gesättigt sind. In solchen Fällen ist die MPC in der Lage, die richtigen Maßnahmen zu ergreifen.

Modellierung und Reglerentwurf

Wie der Name schon sagt, dient der Model Builder zur Erstellung des für die MPC verwendeten Modells. Das Modell kann auf drei verschiedene Weisen erstellt werden.

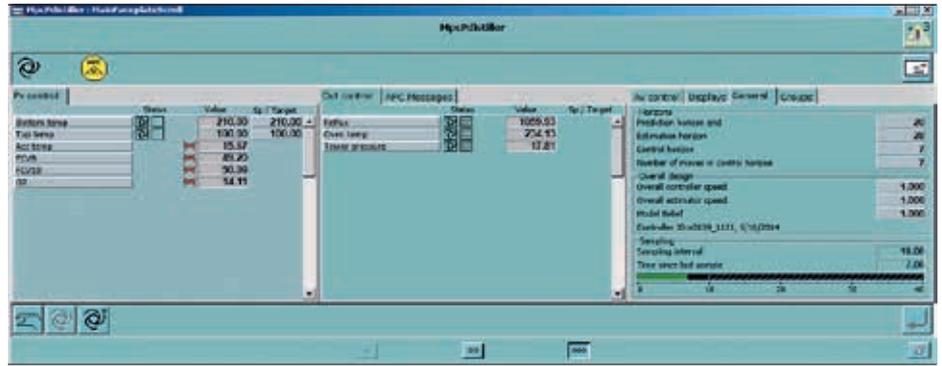
Zum einen kann ein Modell durch empirische Modellierung bestimmt werden, wobei ein zeitdiskretes Zustandsraummodell aus protokollierten Daten errechnet wird. Die Daten sollten vorzugsweise aus einem Identifizierungsexperiment gewonnen werden, bei dem die Stellgrößen herauf- und heruntergesetzt werden. Dies lässt sich auf verschiedene Weise erreichen. Die einfachste Möglichkeit ist, nacheinander an jeder Stellgröße sprunghafte Veränderungen vorzunehmen.

Alternativ dazu kann ein Modell durch eine Reihe von Transferfunktionsmodellen niedriger Ordnung – eines für jede Eingangs-Ausgangs-Beziehung im Mehrgrößenmodell – definiert werden. Eine typische Transferfunktion niedriger Ordnung wird durch die Parameter in folgender Gleichung definiert:

$$G(s) = \frac{K}{sT + 1} e^{-Ls}$$

Sämtliche Ereignisse und Unregelmäßigkeiten werden von der Alarm- und Ereignisfunktionalität von System 800xA erfasst.

5 Hauptbedienfeld (Faceplate)



Es können aber auch kompliziertere Transferfunktionen definiert werden.

Eine dritte Möglichkeit ist die grafische Erstellung eines physikalisch motivierten Modells mithilfe vordefinierter Bausteine. Dies ist die generischste Methode, die von Model Builder unterstützt wird.

Obwohl dies völlig unterschiedliche Ansätze sind, kann ein Modell durch Zusammenführung kleinerer Modelle aller drei Arten erstellt werden.

Model Builder bietet außerdem Funktionen zur Analyse von Modellen. Es gibt Funktionen für Sprungantworten und zur Validierung von Modellen, bei denen das Modell mit protokollierten Eingangswerten gespeist wird und die simulierten Modellausgangswerte mit protokollierten Ausgangswerten verglichen werden.

Ist die Qualität des Modells ausreichend für die Verwendung im Regler, kann eine MPC entworfen werden. Dies erfolgt ebenfalls in Model Builder. Dazu werden die Entwurfsparameter in eine Tabelle eingegeben → 4. Für weniger erfahrene Benutzer steht eine Autotuning-Funktion zur Verfügung, die Anfangsparameter liefert.

Der Einfluss der gewählten Tuningparameter kann durch Simulationen mit verschiedenen Eingangswerten evaluiert werden. Es gibt Möglichkeiten zur Simulation mit Sprüngen in Sollwerten, Vorsteuergrößen und Ausgangsstörungen. Die Robustheit kann leicht evaluiert werden, indem für die Simulation ein anderes Modell als das im MPC-Regler eingesetzte verwendet wird.

Die Reglerparameter werden zusammen mit dem Modell als XML-Datei gespeichert.

Inbetriebnahme der MPC in System 800xA

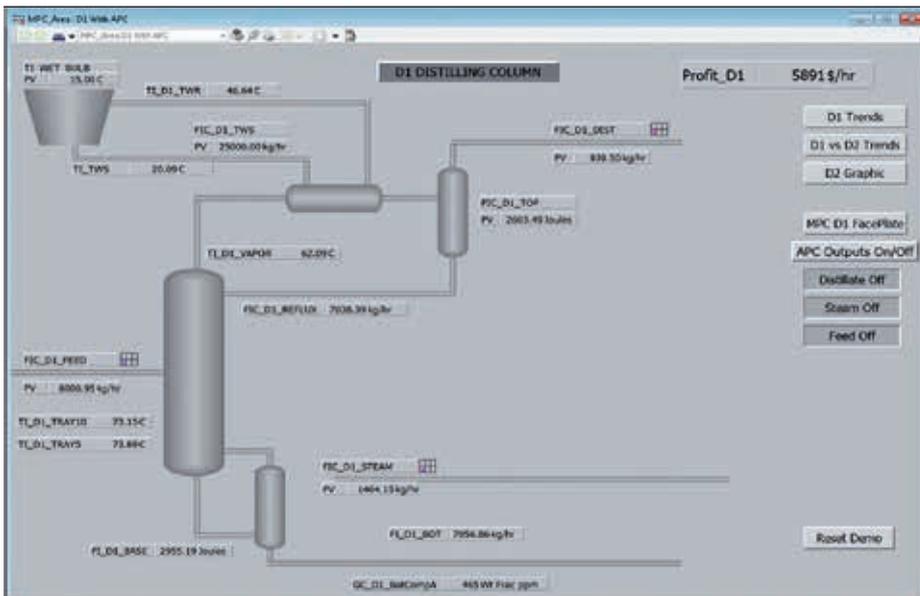
Der letzte Schritt ist die Inbetriebnahme der entworfenen MPC in System 800xA. Im System 800xA Plant Explorer kann eine XML-Datei mit Tuning-Parametern und Modell ausgewählt werden, um den Online-MPC-Algorithmus mit einem der in Model Builder definierten MPC-Reglern zu konfigurieren. Nun ist der MPC-Regler vollständig betriebsbereit und kann in den automatischen Modus geschaltet werden, um seine Aufgabe zu erfüllen.

Sobald die grundlegende Konfiguration abgeschlossen ist, werden vom System eine Reihe maßgeschneiderter Faceplates erzeugt → 5. Diese enthalten vollständige Informationen sowohl für den Bediener als auch den APC-Techniker. Mit anderen Worten, es stehen nicht nur Soll- und Grenzwerte zur Verfügung, sondern auch die interne Parametrisierung des Reglers ist für autorisierte Benutzer von System 800xA zugänglich.

Die meisten der Tuningparameter sind in den Faceplates oder Bedieneranzeigen verfügbar. Dies ist nützlich, wenn weitere Online-Einstellungen erforderlich sind.

Wenn mehrere MPC-Regler auf demselben Server implementiert sind, könnte eine Aufteilung der CPU-Last erforderlich sein. Dies kann mithilfe des Scheduling-Tools von System 800xA APC erreicht werden, wobei jedem Regler ein Zeitschlitz für seinen optimalen Startpunkt zugewiesen wird.

Durch die Integration in System 800xA stehen zusätzliche Funktionalitäten zur Verfügung. So bietet System 800xA z.B. eine integrierte Alarmbehandlung, Unterstützung der Landessprache und Tabellen mit APC-Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs).



Typische Anwendungsfälle

Es gibt fünf typische Anwendungsfälle für APC-Regler.

Destillationskolonnen in der Öl- und Gasindustrie

Destillationskolonnen sind in der Prozessindustrie weit verbreitet. Sie werden verwendet, um Bestandteile mit unterschiedlichen Siedepunkten voneinander zu trennen. Dazu wird die Rohmischung der Bestandteile – normalerweise in flüssiger Form – der Destillationskolonne in der Mitte zugeführt. Durch schrittweise Verdampfung und Kondensation sammeln sich die Bestandteile mit niedrigem Siedepunkt am oberen Ende der Kolonne und die Bestandteile mit hohem Siedepunkt am unteren Ende. Ein typisches Beispiel ist die Trennung von Rohöl in Bestandteile wie Benzin, Petroleum und Diesel.

Da jeder Schritt die anderen beeinflusst, handelt es sich naturgemäß um ein Mehrgrößenproblem. Doch da der Prozess hochgradig reproduzierbar ist, eignet er sich hervorragend für die empirische oder datenbasierte Modellierung. Typische Prozessgrößen sind Temperaturen, Drücke und Zusammensetzungen auf verschiedenen Ebenen der Kolonne, während die Hauptstellglieder die Zufuhr, die Befeuerung, die Aufkocher am Boden der Kolonne, die Rezirkulationsflüsse, die Abkühlraten und der Bypass zur Regelung des Kopfdrucks sind → 6.

MPC-Projekte in diesem Bereich ermöglichen eine bessere Prozessstabilität, eine homogenere Qualität der Destillationspro-

dukte und – abhängig von den Geschäftszielen des Kunden – eine Maximierung des Ertrags, Erhöhung des Durchsatzes, Reduzierung von Verlusten durch zu hohe Qualität (Giveaways) oder eine Minimierung des Energieverbrauchs [4].

Mahlen und Flotation in der Mineralindustrie

In einem typischen Mahlkreislauf, z. B. in einer Kupfermine, wird das Erz großen Mühlen zugeführt, wo es durch Reibung und Stoß zerkleinert wird. Normalerweise umfasst ein Mahlkreislauf mindestens zwei miteinander verbundene Mühlen mit Sichten (z. B. Zyklonen), die das feine Material vom groben trennen (das dann erneut gemahlen wird).

Mit Durchsätzen von 2.500 bis 3.000 t/h und einem Leistungsbedarf von 20 bis 30 MW ist der Prozess sehr energieintensiv. Prozessgrößen sind die Mühlenladungen, das Drehmoment und die Leistung der Motoren sowie Drücke und Durchflussmengen. Das gemahlene Produkt wird nach seiner Feinheit spezifiziert. Zu den typischen Ergebnissen eines APC-Reglers → 7 gehören ein höherer Durchsatz, eine homogenere Produktqualität und niedrigere Wartungskosten.

Darüber hinaus kann die APC nutzbringend in der Flotationsanlage eingesetzt werden, wo das gemahlene Erz – jetzt in Form einer wässrigen Suspension – „gewaschen“ wird, um wertvolle Minerale von den Reststoffen zu trennen. Mit dem Ziel, eine maximale Produktion bzw. einen maximalen Ertrag bei einer bestimmten Konzentratqualität zu erreichen, nimmt die

Ist die Qualität des Modells ausreichend für die Verwendung im Regler, kann eine MPC entworfen werden.

APC rechtzeitige Anpassungen an der Schaumhöhe, dem Luftstrom und den Reagenzien vor, was zur Stabilisierung des Prozesses und einer höheren Ausbeute führt [5].

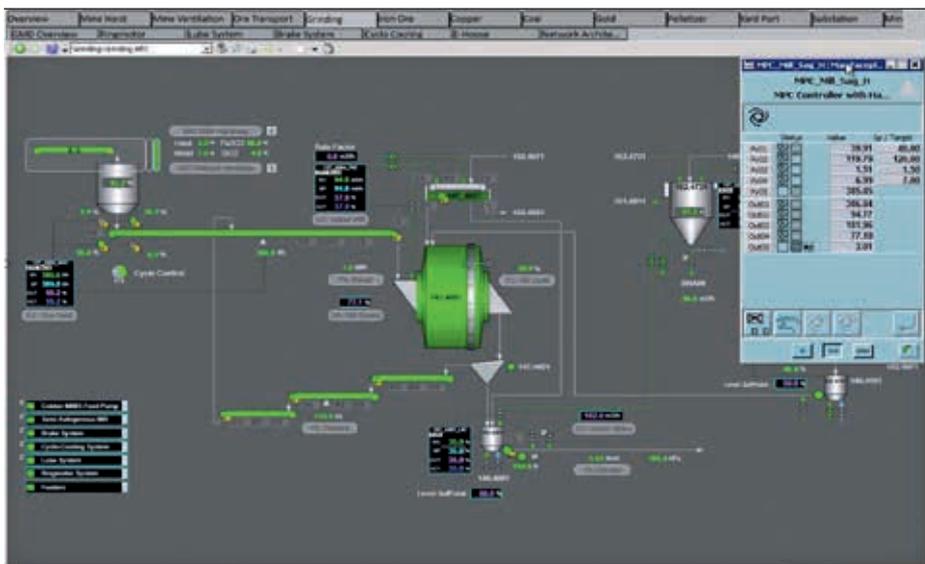
Drehrohren in der Zementindustrie

Der Drehrohrenprozess ist naturgemäß instabil, da lange Zeitverzögerungen und Störungen auf ihn einwirken. Das Regelungsproblem besteht darin, ein bestimmtes Temperaturprofil entlang des Ofens aufrechtzuerhalten und günstige Brennbedingungen sicherzustellen. Darüber hinaus muss die Regelstrategie dies mit einem geringstmöglichen Energieverbrauch erreichen, was bedeutet, dass eine Reihe von Nebenbedingungen wie der Luftanteil in den Abgasen berücksichtigt werden müssen. Das Problem zeichnet sich durch relativ lange Zeitverzögerungen aus, bedingt durch den langsamen Transport des Rohmaterials durch eine Reihe von Wärmetauschern, Zyklonen und den Ofen.

Stellglieder sind die Ofendrehzahl, der Energieeinsatz (Brennstoffe), die Luft und die Materialzufuhr. Die zu regelnden Prozessparameter sind die Temperatur im Ofenkopf (bzw. ein speziell erstellter Softsensor davon), die Temperatur am Ofeneinlauf und der Sauerstoffgehalt in den Gasen, die sich durch das System bewegen. Komplizierend hinzu kommt eine mögliche Verwendung von alternativen Brennstoffen. In diesem Fall muss die Regelstrategie den optimalen Brennstoffmix für die jeweiligen Bedingungen berechnen.

Für weniger erfahrene Benutzer steht eine Auto-tuning-Funktion zur Verfügung, die Anfangsparameter liefert.

7 Mahlanwendung für Minerale



Zu den typischen Vorzügen, die der Nutzer von einer Optimierung von Zementdrehrohröfen mithilfe von System 800xA APC (angeboten als „Expert Optimizer“) erwarten kann, gehören ein höherer Ausstoß, ein geringerer Brennstoffverbrauch, eine längere Lebensdauer der Feuerfestausmauerung sowie eine bessere und konsistentere Qualität [6, 7].

Kontinuierlicher Zellstoffkocher

Der Kamy-Zellstoffkocher ist ein komplexer röhrenförmiger Reaktor, in dem Holz hackschnitzel mit einer wässrigen Lösung aus Natriumhydroxid und Natriumsulfid (der sogenannten Weißblauge) reagieren, um den Zellulosefasern das Lignin zu entziehen. Das Produkt sind Zellulosefasern oder Zellstoff. Die meisten kontinuierlich arbeitenden Zellstoffkocher bestehen aus drei Zonen: einer Imprägnierzone, einer oder mehrerer Kochzonen und einer Waschzone. In der Imprägnierzone dringt die nach unten fließende Weißblauge in die Holz hackschnitzel ein. Anschließend wird die Mischung auf eine bestimmte Kochtemperatur erhitzt, bei der die Delignifizierung beginnt und der größte Teil des Lignins entzogen wird. Am Anfang der Waschzone wird der Kochprozess durch Senken der Temperatur gestoppt, und der gekochte Zellstoff wird in einer Gegenstrom-Waschzone gewaschen. Hierzu wird Waschblauge am unteren Ende des Zellstoffkochers zugeführt.

Eine gleichmäßige Zellstoffqualität bei einer durchgängig hohen Produktionsrate sicherzustellen, ist eine anspruchsvolle Aufgabe für das Bedienpersonal einer solchen Anlage, bei der die Qualität des Rohmaterials –

z. B. die Größe und Feuchtigkeit der Hackschnitzel – abhängig von der Jahreszeit, geografischen Faktoren und der Holzquelle unterschiedlich ausfällt. Die Tatsache, dass mal harte Laub- und mal weiche Nadelhölzer verwendet werden, macht die Prozessführung noch komplexer.

Hier sorgt ein gehobenes Regelungs paket für den Zellstoffkocher (OPT800 Cook/C, eine Anwendung, die auf der System 800xA APC-Plattform aufbaut) für eine Stabilisierung der Zellstoffproduktion, Reduzierung des Chemikalienverbrauchs und Koordinierung der zahlreichen Regelkreise für eine optimale, spezifikationsgemäße Zellstoffqualität mit minimaler Streuung. Die optimierte Zellstoffproduktion sorgt zudem für eine Minimierung des Bleichmitteleinsatzes bei der Produktion von gebleichten Sorten. Außerdem maximieren die Regelungen die Produktion, den Ertrag und die Entwässerung an der Papiermaschine sowohl für gebleichte als auch braune Produkte. Zu den Prozessgrößen gehören die Kappa-Zahl, der Füllstand des Zellstoffkochers, die Restalkalikonzentration und die Produktionsrate. Die Produktqualität wird anhand einer Kappa-Vorgabe und eines Füllstandsbereichs spezifiziert.

Beispielhafte Ergebnisse jüngster Installationen zeigen eine Reduzierung der Kappa-Zahl um 51 %, eine stabile Produktqualität und einen stabilen Durchfluss in der Blasleitung sowie eine 60%-ige Reduzierung der Schwankungen im Füllstand des Kochers. Eine stabilisierte Bewegung der Hackschnitzel führt zu einer stabilen Verweilzeit in den verschiedenen Zonen des Kochers [8].

Industrielles Dampfkraftwerk

In vielen Prozessindustrien (Öl und Gas, Zellstoff und Papier, Minerale usw.) werden Dampf und Strom für die Produktion benötigt. In solchen Fällen bauen die Anlagenbetreiber häufig eigene Erzeugungsanlagen, um diesen Bedarf zu decken. Hierbei handelt es sich nicht um „normale“ Kraftwerke wie sie üblicherweise zur Stromerzeugung gebaut werden. Tatsächlich wird nicht nur der Dampf mit anderen, sehr spezifischen Drücken und Temperaturen benötigt, auch der Verbrauch ist durch die Variabilität der Prozessbedingungen, das Abschalten und/oder Anfahren von Dampfverbrauchern usw. sehr veränderlich. Folglich sind eine hohe Stabilität des Dampfnetzes und eine zuverlässige Leistungsabgabe schwer zu erreichen. In einigen Fällen wird Dampf auch durch Energierückgewinnung aus anderen Einheiten wie Öfen von Dampfcrackanlagen oder durch Nutzung gasförmiger Nebenprodukte, z. B. von Hochöfen in Stahlwerken, erzeugt. Dies sorgt für zusätzliche Störungen im Dampfnetz, da die Energie- und Brennstoffrückgewinnung von der Verfügbarkeit und den Zyklen der vorgelagerten Einheiten abhängen.

Das primäre Ziel besteht für gewöhnlich darin, dem Prozess genügend Dampf mit den notwendigen Parametern bereitzustellen und entsprechend der aktuellen Marktbedingungen so viel Strom zu erzeugen, wie es wirtschaftlich sinnvoll ist. In anderen Konfigurationen kann das Problem auch die Lieferung von Wärme in ein Fernwärmenetz beinhalten.



Der Sprung nach vorn

Vom Nachzügler zum Spitzenreiter: Einsatz von IT im Bergbau

JAY JENKINS – Noch bis vor Kurzem lagen nahezu alle Branchen vor dem Bergbau, wenn es um den Einsatz von Informationstechnik (IT) zur Unterstützung und Optimierung von Betriebsabläufen ging. Während laut Studien von Marktforschungsunternehmen in der Industrie allgemein zwischen 3 % und 5 % des Umsatzes in die IT investiert wurden, waren es im Bergbau weniger als 1 %. Doch dies hat sich in den letzten fünf Jahren grundlegend geändert. Mithilfe der IT gelingt es immer mehr Bergbauunternehmen, ihre Produktivität zu steigern – trotz der vielen Herausforderungen, mit denen sich die Branche konfrontiert sieht.



Die zunehmende Komplexität in der Bergbauindustrie hat viele Bergbauunternehmen dazu veranlasst, die Hilfe der IT zu suchen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und insbesondere Kosten zu sparen. Dieser Trend wird unterstützt durch den Wechsel vieler hochrangiger Führungskräfte aus anderen Branchen in den Bergbausektor. Diese kommen aus dem Konsumgüterbereich, Hightech-Unternehmen und Finanzinstituten und treiben die IT-Investitionsphilosophie voran. Dies hat in der gesamten Branche neue Maßstäbe gesetzt. Außerdem haben viele große Industrieunternehmen den Markt für METS (Mining Equipment, Technology and Service) für sich entdeckt – ein Segment mit einem Jahresumsatz von 90 Mrd. USD, was 6,5% des australischen Bruttoinlandsprodukts entspricht. Diese Unternehmen setzen ihre ausgereiften IT-Konzepte unternehmensweit ein, um Lösungen für Bergbauunternehmen zu entwickeln.

Dank dieser Faktoren hat der Bergbausektor die einzigartige Möglichkeit, von Pionierleistungen in anderen Industri-

Titelbild

Die Informationstechnik verändert die Bergbauindustrie, indem sie dabei hilft, die vielen unterschiedlichen Teile in einer integrierten Betriebsumgebung miteinander zu verbinden.

en zu lernen, wenn es um die Nutzung von Technologie geht. Andere Fertigungsbranchen – sowohl die diskrete als auch die Prozessfertigung – haben frühzeitig gelernt, dass Automatisierungs- und Informationsinseln die Leistungsfähigkeit

und OT (Betriebstechnik wie speicherprogrammierbare Steuerungen an Maschinen) zu effizienteren Prozessen geführt.

Natürlich investieren Bergbauunternehmen in ihre eigene Forschung und Entwicklung.

Hier ermöglichen Synergien mit Technologien aus anderen Industrien die Realisierung technischer Fortschritte im großen Maßstab.

So kann autonome Ausrüstung im Bergbau im industriellen Maßstab eingeführt werden. Diese

Die zunehmende Komplexität in der Bergbauindustrie hat viele Unternehmen dazu veranlasst, die Hilfe der IT zu suchen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und Kosten zu sparen.

beeinträchtigen und sowohl im Hinblick auf das Produktionsvolumen als auch auf die Qualität zu Problemen führen → 1.

IT/OT-Konvergenz – ein integriertes Unternehmen

Eines der vielversprechendsten Ergebnisse der „Fremdbefruchtung“ durch andere Industrien ist die Einführung von integrierten, autonomen Betriebsabläufen, die aus der Ferne gesteuert werden können. Hier hat die Konvergenz von IT (Informationstechnik wie Enterprise-Asset-Management-, Enterprise-Resource-Planning-, Logistik- und Betriebsführungssysteme)

Autonomie und Fähigkeit zur Steuerung der Ausrüstung mithilfe hochgradig standardisierter, ausgereifter und integrierter IT-Systeme bedeutet, dass Bergwerke auf effektive Weise von entfernten Betriebszentralen aus betrieben werden können, die viele Hundert Kilometer entfernt sind → 2.

Zu den Hauptantriebsfaktoren für die Realisierung eines integrierten Bergbauunternehmens gehören laut Gartner [1]:

- Ein kritischer Mangel an Fachkräften in allen Bereichen vom Abbau bis zur Führungsebene

Laut einer Forschungsstudie besteht die größte Chance für den Bergbau darin, von anderen Branchen zu lernen und durch Übernahme standardisierter Architekturen integrierte Betriebe zu realisieren.

2 Integrierte IT-Systeme werden den Betrieb von Bergwerken aus der Ferne ermöglichen.



- Die Möglichkeit zur wirksamen Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette und nicht nur von bestimmten Teilen
- Größere öffentliche Wahrnehmung und Verantwortung, auch in den Bereichen Nachhaltigkeit und Finanzen
- Konsistenz der Produktion sowohl im Hinblick auf die Qualität als auch die Vorhersehbarkeit der Leistungsfähigkeit
- Die Fähigkeit zum Agieren in einem äußerst volatilen wirtschaftlichen Umfeld

Diese Punkte stimmen sehr gut mit den Ergebnissen des Ventyx 2012 Global Mining Survey [2] und kürzlich veröffentlichten Interviews mit Führungskräften [3]

Dank dieser Faktoren hat der Bergbausektor die einzigartige Möglichkeit, von den Pionierleistungen in anderen Industrien zu lernen, wenn es um die Nutzung von Technologie geht.

überein. Angesichts dieser Vorteile streben mehrere führende Bergbauunternehmen eine solche Integration an. Allerdings

sind die Ergebnisse noch nicht optimal, da das Fehlen branchenweit anerkannter Standards für Unternehmensarchitekturen (Enterprise Architectures, EA) die Integrationsbemühungen verlangsamt.

Andere Branchen – von der Automobilindustrie bis zur Halbleiterindustrie – standen in der Vergangenheit ebenfalls vor diesem Problem und haben in den vergangenen 15 bis 20 Jahren zahlreiche Industriestandards übernommen, die eine schnellere Implementierung integrierter Betriebsabläufe erleichtern. Der Bergbau kann und sollte einen ähnlichen Ansatz verfolgen. Führende Unternehmen sind bereits dabei, OAGIS, S95, B2MML und Standards wie PAS55 zu übernehmen. Ventyx lernt aus den Erfahrungen anderer

und wendet fundiertes Bergbauwissen auf diese Standards an. So fungiert das Unternehmen als Katalysator für Kunden, die diesen Reifegrad schneller erreichen wollen.

Kein Industriestandard ist in der Lage, die vollständige Breite und

Tiefe der Bergbauindustrie abzudecken. Doch es gibt mehrere EA-Initiativen, die die Aufmerksamkeit und Unterstützung

3 In einer integrierten Betriebsumgebung kann die Position, Qualität und Quantität von im Transport befindlichen Produkten leicht verfolgt werden.



Eines der vielversprechendsten Ergebnisse der „Fremdbefruchtung“ durch andere Industrien ist die Einführung von integrierten, autonomen Betriebsabläufen, die aus der Ferne gesteuert werden.

der Branche verdienen. Ein bedeutendes Beispiel ist das EMMM™-Forum (Exploration, Mining, Metals and Minerals) der Open Group (einem anbieter- und technologie-neutralen Industriekonsortium), das ein EA-Referenzmodell für die Branche entwickelt hat. Als Referenzmodell ist es allgemein genug, um als Grundlage für die spezifische Architektur jedes Bergbauunternehmens zu fungieren – aber mit der Ambition und Möglichkeit, einen Großteil der Komplexität zu automatisieren, die mit einem effizienten autonomen Bergbaubetrieb verbunden ist.

Der erste Schritt für jedes Bergbauunternehmen in Richtung einer integrierten Betriebsumgebung besteht darin, sicherzustellen, dass es:

- die Vorteile der Integration versteht,
- eine Strategie und Vorgehensweise zum Erreichen dieser Integration besitzt,
- Anbieter und Produkte auswählt, die mit dieser Integrationsstrategie und den vorgesehenen Plänen zur praktischen Umsetzung kompatibel sind.

Die Anschaffung von isolierter und eigenständiger Technologie kann zwar ein punktuell Problem lösen, doch wenn es darum geht, die Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen, die ein integriertes Unternehmen erzielen kann, stellt sie letztendlich ein unüberwindliches Hindernis dar. Aus diesem Grund setzt Ventyx auf eine nahtlose Integration innerhalb seiner eigenen

Produkte und auf die Zusammenarbeit mit entsprechenden Akteuren, die ebenfalls von den Ergebnisse einer offenen Plattform überzeugt sind.

Das integrierte Bergbaumodell von Ventyx

Ventyx besitzt ein umfassendes Know-how, das nahezu jedem Bergbauunternehmen bei der Entwicklung seiner Integrationsstrategie von Nutzen sein dürfte. Die Open Group hat ein globales Forum namens EMMMv (Exploration, Mining, Metals and Minerals Vertical) ins Leben gerufen, um EA-Standards und Referenzmodelle für die Branchen Exploration, Bergbau, Metall und Minerale zu entwickeln. Die Methoden und Prozessmodelle von Ventyx stehen grundsätzlich im Einklang mit dem EMMMv-Modell. Das einzigartige Know-how von Ventyx kann die Komplexität von integrierten Bergbaumodellen reduzieren und Bergbauunternehmen dabei helfen, sich auf die kritischen Prozesse zu konzentrieren, die ihnen zu einer hervorragenden Leistungsfähigkeit verhelfen, wenn sie gut ausgeführt werden.

Fazit

Die Bergbauindustrie hat Vorteile, die andere Branchen nicht hatten. Sie kann die 15–20 Jahre nutzen, die die meisten anderen Industrien benötigt haben, um das Konzept eines integrierten Unternehmens zu verstehen und umzusetzen. Durch Übernahme von Integrations-

modellen, Kommunikations- und Datenstandards, die eine Integration erleichtern, und durch die Auswahl und den Einsatz von passenden Lösungen können Bergbauunternehmen in wenigen Jahren das schaffen, wofür andere Branchen Jahrzehnte benötigt haben.

Jay Jenkins

Ventyx, ein Unternehmen der ABB-Gruppe
Brisbane, Australien
jay.jenkins@ventyx.abb.com

Literaturhinweise

- [1] Ventyx (2013): „Process for Defining Architecture in an Integrated Mining Enterprise, 2020“. D. Miklovic, B. Robertson. Gartner ID-Nummer G00206261 (6. Oktober 2010). Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/doc/1446018/process-defining-architecture-integrated-mining>
- [2] „Ventyx Mining Executive Insights Annual Global Survey Results I 2012“. Verfügbar unter: <http://www.ventyx.com/go/miningsurvey/2012miningsurveyreport.pdf>
- [3] Ventyx (2013): „Mining 2020 – Profitably Reaching the End of this Decade in the Mining Sector“. Verfügbar unter: <http://www.ventyx.com/resources/registration?url=/resources/type/expert/ebook-mining2020>



Eine für alle

Ein einheitliches Plattformkonzept hilft, die Komplexitäten heutiger Bergbauprozesse zu bewältigen

DAVID WESTLAKE – Das Management der Prozesse von der Grube bis zum Markt ist eine komplexe Herausforderung für jedes Bergbauunternehmen. Manuelle Verfahren und punktuelle Softwarelösungen sind nicht in der Lage, die Komplexität und die Echtzeit-Anforderungen der eng miteinander verknüpften kaufmännischen und logistischen Prozesse von heute zu bewältigen. Agnico Eagle erfuhr dies aus erster Hand, als das Unternehmen innerhalb weniger Jahre die Zahl seiner Betriebe von einem auf sieben in drei Ländern vergrößerte und seine Produktpalette auf über 20 verschiedene Produkte erweiterte. Ein einheitliches Plattformkonzept für die Automatisierung hat Agnico Eagle dabei geholfen, die Komplexitäten heutiger Marktgeschäftsprozesse zu bewältigen und dabei Kosten zu reduzieren und das Geschäftsergebnis zu verbessern.



Ein bedeutender Vorteil der Automatisierung per Software ist, dass Daten nur einmal eingegeben und dann von den Geschäftsregeln verwendet werden können.

Agnico Eagle ist ein führender internationaler Goldproduzent mit Bergwerken und Explorationsliegenschaften in Kanada, Finnland, Mexiko und den USA → 1. Bis vor nicht allzu langer Zeit wurden die Marktgeschäftsprozesse bei Agnico wie in vielen anderen Unternehmen auch fast ausschließlich mithilfe von Excel-Tabellen und Word-Dokumenten verwaltet. Doch mit der Ausdehnung des Betriebs auf mehrere Bergwerke, Länder und Sprachen war ein robusterer Ansatz zur Lenkung dieser Prozesse erforderlich. Heute vertraut Agnico auf eine einheitliche Softwareplattform zur Verwaltung und Rationalisierung

seiner Prozesse zwischen Bergwerk und Markt.

Die daraus resultierende Echtzeit-Transparenz und verbesserte Koordination haben dem Unternehmen dabei geholfen, die Verwaltungskosten zu senken, das Bestandsmanagement und die Qualitätskontrollen zu rationalisieren und das Geschäftsergebnis zu verbessern.

Das plattformbasierte Automatisierungskonzept wurde eingesetzt, um die Prozesse über fünf der komplexesten kaufmännischen und logistischen Betriebsbereiche hinweg zu optimieren: Verträge, Compliance, Logistik, Fakturierung und Risikomanagement.

Rationalisiertes Management komplexer Verträge

Das Management kaufmännischer Verträge ist eine sehr komplexe und anspruchsvolle Aufgabe. Bei Agnico begann die

schiere Anzahl der verschiedenen Vertragsarten für mehrere Produkte (Gold, Silber, Kupfer, Zink und Blei) die Verwaltung zu belasten, die u. a. mit mehreren Verträgen für ein einzelnes Produkt, speziellen Qualitätsvorgaben sowie komplizierten Zahlungsbedingungen und Lieferzeitplänen zu kämpfen hatte. Mit der Erweiterung des Betriebs wurde deutlich, dass dieser Prozess zu schwierig und zu personalintensiv war, um manuell verwaltet zu werden.

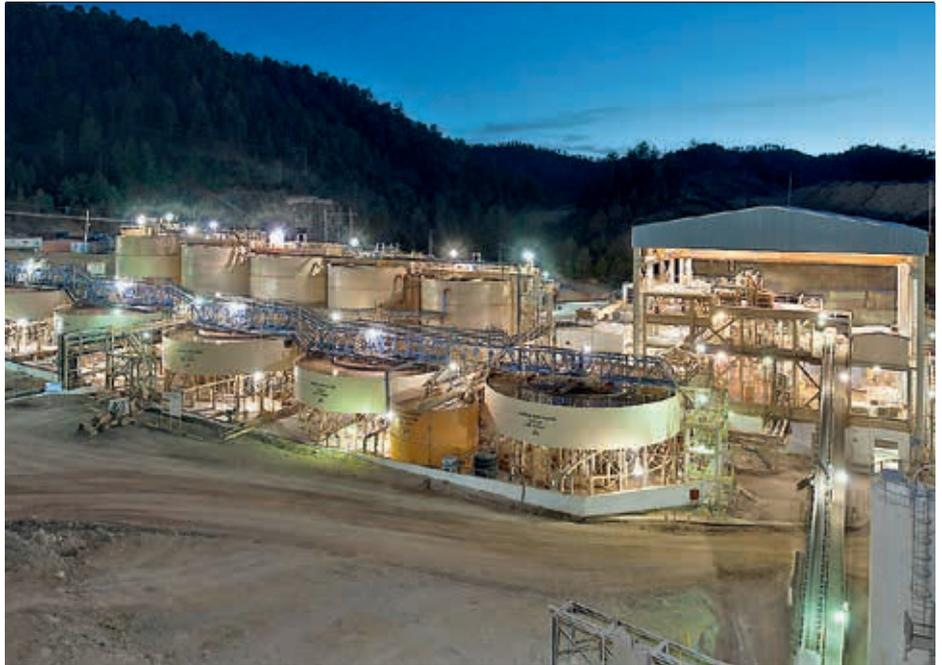
Die Vertragsverwaltung war einer der grundlegenden Bereiche, die Agnico durch die Einführung einer Softwareplattform verbessern wollte. Ein bedeutender Vorteil der Automatisierung per Software ist, dass Daten nur einmal eingegeben und dann von den Geschäftsregeln im System verwendet werden können. Im Wesentlichen werden die Vertragsdaten im System erfasst, wo sie automatisch auf ihre Richtigkeit und Vollständigkeit geprüft werden, um sicherzustellen, dass der Vertrag kor-

Titelbild

Der Abbau von Rohstoffen ist nur der Anfang eines langen und komplexen Wegs bis zur ihrer endgültigen Verwendung. All die daran beteiligten Geschäftsprozesse lassen sich am besten mithilfe einer einheitlichen Softwareplattform verfolgen. Das Bild zeigt Lkw bei der Arbeit in einem Goldtagebau von Agnico in Kanada.

Die daraus resultierende Echtzeit-Transparenz und verbesserte Koordination haben dabei geholfen die Verwaltungskosten zu senken, das Bestandsmanagement und die Qualitätskontrollen zu rationalisieren und das Geschäftsergebnis zu verbessern.

1 Agnico-Aufbereitungsanlage Pinos Altos an der Santo-Niño-Verwerfungszone in Nordmexiko



rekt berechnet wird. Dadurch, dass der administrative „Papierkrieg“ wegfällt, hat das Verwaltungspersonal mehr Zeit für konstruktivere Aufgaben. Hinzu kommt, dass nun sofort am Monatsende genaue Abrechnungen erstellt werden können und nicht erst Wochen später.

Erfüllung komplexer Compliance-, Auditierungs- und Reporting-Anforderungen

Compliance ist im Bergbau ein absolutes Muss → 2. Ein Unternehmen, das die Vorschriften nicht erfüllt, kann nicht arbeiten. Robuste Auditierungsfunktionen sind eine wichtige Grundlage, wenn es darum geht, die Erfüllung des Sarbanes-Oxley-Acts und anderer Gesetze sicherzustellen und nachzuweisen und das, was einem Kunden geliefert wurde, mit dem abzugleichen, was ein Unternehmen glaubt, produziert zu haben.

Software ermöglicht einem Unternehmen die volle Kontrolle über seine Informationen. Mit einer Softwareplattform werden Daten geprüft und auditiert, um sicherzustellen, dass Verträge korrekt in das System eingegeben wurden. Außerdem wird der Zugriff auf kaufmännische Daten und die Fakturierung streng geregelt (Zugangsrechte, Änderungshistorie usw.) und kontinuierlich überwacht. Diese Sicherung der Informationen spart dem Unternehmen nicht nur Zeit und Mühe und rationalisiert den Auditprozess, sondern sorgt auch für die im Rahmen der Compliance

häufig geforderte Aufgabentrennung. Als börsennotiertes Unternehmen profitiert Agnico erheblich von diesen Möglichkeiten.

Software erleichtert zudem den Abgleich zwischen Produktionsausgang und Kundenlieferung. Dank Software ist Agnico in der Lage, einen transparenten Einblick in den tatsächlichen Produktgehalt von Lkw-Ladungen zu bekommen und einzelne Lkw-Einheiten bis zum Endkunden zu verfolgen.

Außerdem kann die Transparenz von Entladegewichten und Produktgehalten einem Unternehmen dabei helfen, seine Förderanlagen und -pläne anzupassen (z. B. durch Verfolgung von Qualitätsproblemen bis zu ihrem Ursprung) und durch bessere Kenntnis der Erzgüten rentabler zu arbeiten. Bei Agnico ist diese entscheidende Transparenz Bestandteil einer Rückkopplungsschleife zur kontinuierlichen Prozessverbesserung.

Bewältigung komplexer Logistik

Eine weitere gemeinsame Herausforderung aller Bergbauunternehmen ist das Management komplexer Transportumgebungen und Lieferzeitpläne. Dazu gehört die Verwaltung verschiedener Transportformen ebenso wie sich rasch verändernde Kapazitäten, Vertragsquoten und variable Lieferzeitpläne. Hierbei geht es um mehr als nur darum, Minerale und Metalle auf den Markt zu bringen. Auch hier geht es um Transparenz – zu wissen, welche Materialien in welche Lkw und Wagons



Die Software ermöglicht Agnico den Einblick in und die Kontrolle über die logistischen Betriebsabläufe. Das Logistikpersonal kann sich den Inhalt jedes Lkw anzeigen lassen und sehen, welche Ladungen welchem Wagon zugeordnet sind.

verladen wurden und wohin sie letztendlich gelangt sind.

Wie bei den Verträgen und der Compliance ermöglicht die Software Agnico den Einblick in und die Kontrolle über die logistischen Betriebsabläufe. So kann sich das Logistikpersonal den Inhalt (enthaltenes Metall und Wert) jedes Lkw anzeigen lassen und sehen, welche Lkw-Ladungen welchem Wagon zugeordnet sind. Außerdem können die Lkw-Ladungen mithilfe der Software zwischen den Wagons „verschoben“ werden, um eine optimale Logistik zu erreichen – so, als wäre jede Lkw-Ladung ein mit Informationen versehender Baustein. So können bestimmte „Bausteine“ zurückgehalten werden, wenn es ein Problem auf einer Bahnlinie gibt, während andere bei Bedarf eingesetzt werden können, um den Kundenauftrag zu erfüllen.

Diese Art der Transparenz bietet einen erheblichen zusätzlichen Nutzen, der sich über mehrere komplexe Prozesse erstreckt. Dank der Softwareplattform ist Agnico jederzeit (speziell am Monats- und Quartalsende) in der Lage, seinen gesamten Bestand sowie alle im Transit befindlichen Güter und Forderungen genau zu visualisieren und zu bewerten. Dies stellt einen bedeutenden Fortschritt gegenüber früher dar, als Unternehmen nur eine Menge Material „sehen“ konnten und keine genaue Vorstellung von seiner Zusammensetzung und seinem Wert hatten, bis eine formelle Abstimmung durchgeführt wurde.

Beschleunigung komplexer Fakturierungsprozesse

Analog zu den Verträgen nimmt auch die Anzahl und Komplexität der Rechnungen zu, wenn ein Bergbauunternehmen wächst. Wie bereits erwähnt, müssen mit der richtigen Software Vertragsdaten, Preise, Gewichte, Gehalte usw. nur einmal eingegeben und geprüft werden. Statt sich darüber Gedanken zu machen, ob die Bedingungen richtig wiedergegeben werden, kann sich das Personal auf die Korrektheit der zugrunde liegenden Daten und die rechtzeitige Abrechnung konzentrieren.

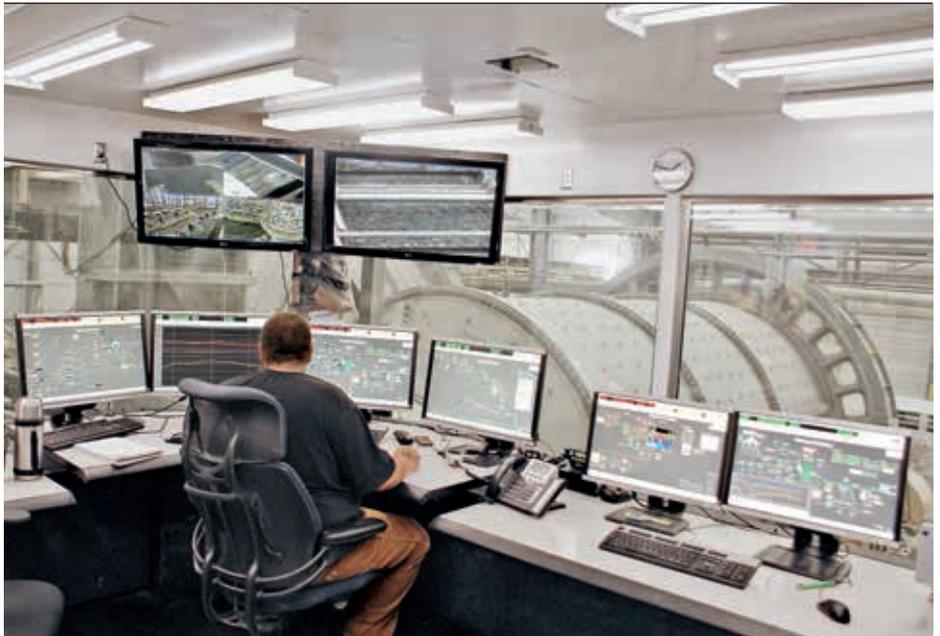
Mitarbeiter müssen sich nicht mehr wiederholt mit der Frage herumquälen, ob eine Strafe oder eine bestimmte Bedingung in einer Rechnung berücksichtigt werden muss, da dies bereits von der Software überprüft wurde. Gleichmaßen können Geschäftsregeln in der Software automatisch die Preise von Informationsdiensten wie Metal Bulletin oder Metals Week berücksichtigen und so das Personal von dieser wiederkehrenden Aufgabe entlasten.

Bei Agnico hat dies den Fakturierungsprozess drastisch beschleunigt.

Vereinfachung eines komplexen Risikomanagements

Ein typisches Merkmal der Bergbauindustrie ist, dass Unternehmen am Ende jedes Rechnungszeitraums Preisschwankun-

3 Eine einheitliche Softwareplattform integriert alle wichtigen Geschäftsinformationen – wie die Daten aus diesem Leitstand einer Mahlanlage.



gen unterliegen. Daher ist es wichtig, am Monatsende ein vollständiges und genaues Bild der auf Halde, im Transit und in Lagern befindlichen Bestände und deren Wert zu haben, um Überraschungen zu vermeiden. Bei Agnico wird dies von derselben Softwareplattform ermöglicht, die auch für die Rationalisierung der Vertragsverwaltung, Sicherung der Compliance, Bewältigung der Logistik und Beschleunigung der Fakturierung sorgt.

Damit ist Agnico in der Lage, nur für den internen Gebrauch für jede ausstehende Rechnung eine Monatsendrechnung zu erstellen, die den genauen Wert der Bestände berücksichtigt. Dies ermöglicht eine sofortige Gesamtbewertung nach aktuellen Marktpreisen (Mark-to-Market) zu Bilanzierungszwecken, d. h. der gesamte aktuelle Wert aller Güter im Transit, im Bestand und in unbezahlten Rechnungen ist bekannt.

Dank dieser Funktionalität ist Agnico außerdem in der Lage, vorläufige Rechnungen zu erstellen, auf die eine endgültige Rechnung folgt. Auch dies hilft dabei, Überraschungen wie Rückverrechnungen zu vermeiden und den Cashflow zu verbessern.

Anforderungen an eine erfolgreiche Softwarelösung

Punktuelle Softwarelösungen eignen sich ebenso wenig wie manuelle Verfahren dazu, die Komplexität und Echtzeit-Anfor-

derungen der eng miteinander verknüpften kaufmännischen und logistischen Prozesse von heute zu bewältigen. Wie die fünf oben beschriebenen Komplexitäten zeigen, ist der zentrale Aspekt die Wechselbeziehung untereinander. Punktuelle Softwarelösungen können miteinander verknüpfte Prozesse nicht annähernd so gut behandeln wie eine Softwareplattform, die Daten, Transparenz, Geschäftsregeln und andere Funktionali-

Vertragsdaten müssen nur einmal eingegeben und geprüft werden. So kann sich das Personal auf die Korrektheit der zugrunde liegenden Daten und die rechtzeitige Abrechnung konzentrieren.

täten über mehrere Prozesse hinweg nutzt und bereitstellt. Aus diesen und anderen Gründen spielte die Wahl einer durchgängigen Plattformlösung bei der Automatisierung der Marktgeschäftsprozesse von Agnico eine zentrale Rolle.

Zu den weiteren Erwägungen gehörten die Unterstützung komplexer Betriebsabläufe mit genügend Raum für Wachstum sowie die Möglichkeit zur Etablierung

standardisierter Geschäftspraktiken in den multinationalen, mehrsprachigen und in verschiedenen Zeitzonen beheimateten Betrieben des Unternehmens (z. B. die Ausgabe von Rechnungen im Standardformat und die zentrale Berechnung der Geschäftsergebnisse/-zahlen/-prognosen für alle Betriebe am Monatsende). Ebenso wichtig war die Möglichkeit, eine durchgängige Transparenz der Marktgeschäftsprozesse zu erzielen und Informa-

tionen zu Produktmengen und -qualitäten an allen Punkten der Handels- und Logistikkette bereitzustellen.

Bisherige Ergebnisse bei Agnico

Die bei Agnico implementierte Plattformlösung Ventyx MineMarket wurde speziell für das Ma-

nagement des gesamten Prozesses von der Grube bis zum Markt (Mine-to-Market) ausgelegt. Zu den bisher realisierten betriebswirtschaftlichen Vorteilen gehören:

- Verkürzung der Zeit zwischen Bestellung, Abrechnung und Zahlung – mit dem Ergebnis einer besseren Liquidität.
- Reduziertes Risiko und Auftreten von Fehlern – trägt zur Verbesserung der Kundenzufriedenheit und des Geschäftsergebnisses bei.

Daten werden auf ihre korrekte Eingabe geprüft, der Datenzugriff wird streng geregelt und überwacht. Dies spart nicht nur Mühe und rationalisiert den Auditprozess, sondern sorgt auch für die im Rahmen der Compliance häufig notwendige Aufgabentrennung.

- Mehr kontrollierte Daten in der Buchhaltung – ermöglichen bessere Compliance-Prozesse und senken finanzielle Risiken.
- Rationalisierte und weniger papierintensive Finanzprüfung – reduziert die Kosten für Fremdauditoren.
- Reduzierter Verwaltungsaufwand
 - ermöglicht dem Personal die Konzentration auf strategisch wichtigere Aufgaben.
- Konsistenz innerhalb von Geschäftsprozessen wie der Fakturierung – erleichtert die Arbeit der Debitorenbuchhaltung und anderen Abteilungen, die mit verschiedenen Marktgeschäftsprozessen zu tun haben.
- Beschleunigte Erstellung von Finanzberichten – einschließlich schnellerer Mark-to-Market-Berichte.
- Verbesserte Analyse und Prognose
 - unterstützt eine bessere Nutzung von Geschäftsdaten und Planung, Sicherung der Produktqualität und Anpassung von Produktion und Nachfrage.

Gewonnene Erkenntnisse

Die durchgängige Automatisierung von Mine-to-Market-Betriebsabläufen ist ein bedeutender Schritt, bei dem Unternehmen viel dazulernen können. Zu den wichtigsten Erkenntnissen bei Agnico gehörte, nicht nur zu fragen, was die Software für das Unternehmen tun kann, sondern sich auch damit zu befassen, was das Unternehmen mit der Software tun muss. Mit anderen Worten, es muss entschieden werden, was die Software erreichen soll, um sie dann an die besonderen Gegebenheiten anzupassen (soll sie z. B. die bereits vorhandenen Prozesse unterstützen oder verwendet werden, um aktuelle Prozesse vollständig umzugestalten und zu optimieren). Dazu muss die Plattform flexibel sein – das ist eine Vor-

aussetzung. Aber auch das Unternehmen muss flexibel sein.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, alle wichtigen Leute aktiv zu beteiligen – und sie in den gesamten Implementierungszyklus einzubinden. Eine grundlegende Veränderung dieser Größenordnung kann nicht allein durch Verordnung implementiert werden – sie erfordert die Unterstützung und Zusammenarbeit der verschiedenen Prozessteilnehmer, Dateneigner und täglichen Benutzer. So sollten alle Beteiligten im Voraus festlegen, welche Berichte, Vertragsarten usw. benötigt werden, um eine entsprechende Konfiguration der Software zu ermöglichen. Auf diese Weise werden sie zu verantwortlichen „Eigentümern“.

Ebenso wichtig ist die Wahl eines Anbieters, der über fundierte Kenntnisse auf dem Gebiet des Bergbaus und der Prozessautomatisierung verfügt – und der auch auf lange Sicht da sein wird.

Zu guter Letzt sollte eine Erweiterung des Geschäfts berücksichtigt werden. Da auf einer Softwareplattform eine begrenzte Anzahl von Prozessen und Betrieben unterstützt werden kann, sollten entsprechende Vorkehrungen getroffen werden. So kann Know-how in der Benutzung der Software aufgebaut werden, und das Unternehmen ist bereit, schnell zu handeln, wenn Wachstumsprognosen Wirklichkeit werden. Es ist leichter, etwas von Grund auf neu aufzubauen als später umzubauen.

Eine für alle

Die fünf oben beschriebenen Komplexitätsbereiche sind nur einige der Bereiche, in denen Agnico Eagle von der Einführung einer einheitlichen Softwareplattform zur Verwaltung seiner Marktgeschäftsprozesse

profitiert → 3. Zu den weiteren Vorzügen gehören die Durchführung von „Was-wäre-wenn“-Szenarien zur Beurteilung sich verändernder Geschäftsbedingungen und eine genauere Bedarfsplanung. Das Schöne an einem Plattformkonzept ist, dass ein und dieselbe Plattform Geschäftsprozesse automatisieren (und verknüpfen), Informationssilos beseitigen und dafür sorgen kann, dass über alle Betriebsabläufe zwischen Bergwerk und Markt hinweg vollständige und aktuelle Informationen zur Verfügung stehen.

Nicht nur Edelmetallproduzenten wie Agnico können von der Automatisierung und der Verfügbarkeit von Echtzeit-Informationen entlang der Handels- und Logistikkette profitieren. Auch Nichtedelmetalle, Kohle, Eisenerz – praktisch jede Art von Bergbaubetrieb kann daraus Nutzen ziehen. Die Betriebsabläufe zwischen der Grube und dem Markt werden in Zukunft noch komplexer werden und stärkeren Auditierungsanforderungen unterliegen. Unmengen von Kalkulationstabellen, punktuelle Lösungen und voneinander getrennte Prozesse fördern die Komplexität, doch ein Plattformkonzept bietet Bergbauunternehmen die Möglichkeit, dies zu bewältigen.

David Westlake

Agnico Eagle Mines Limited
Toronto, Kanada
dwestlake@agnico-eagle.com

ABB-bezogene Informationen erhalten Sie bei:
emmanuel.chabut@ch.abb.com

Moderne Cyborgs

Science-Fiction-Technik hält Einzug
in die Industrie

MARKUS ALEKSY, ELINA VARTIAINEN, MARTIN NAEDELE – Wir kennen sie aus Science-Fiction-Filmen und -Geschichten: Cyborgs – Menschen, die dank implantierter Computer und Elektronik besondere Fähigkeiten aufweisen. Diese Idee ist mittlerweile nicht mehr nur Stoff für Hollywood, sondern findet zunehmend in der Industrie auch Anwendung, wo sie zur Verbesserung der Anlagenwartung und der Arbeitssicherheit beiträgt. Ausgehend von neuesten Fortschritten in der mobilen Datenverarbeitung und der Sensorik verbindet das Konzept des „Wearable Computing“ diese Technologien in unsichtbaren, am Körper getragenen Sensorgeräten, die genaue Informationen über die oftmals sehr komplexe Umgebung liefern, in der sie eingesetzt werden. ABB befasst sich mit der Frage, wie die Industrie und insbesondere die Servicebranche von solchen Lösungen und deren Kombination mit erweiterter Realität (Augmented Reality) profitieren können. Was früher Science-Fiction war, ist moderne Technik von heute geworden.

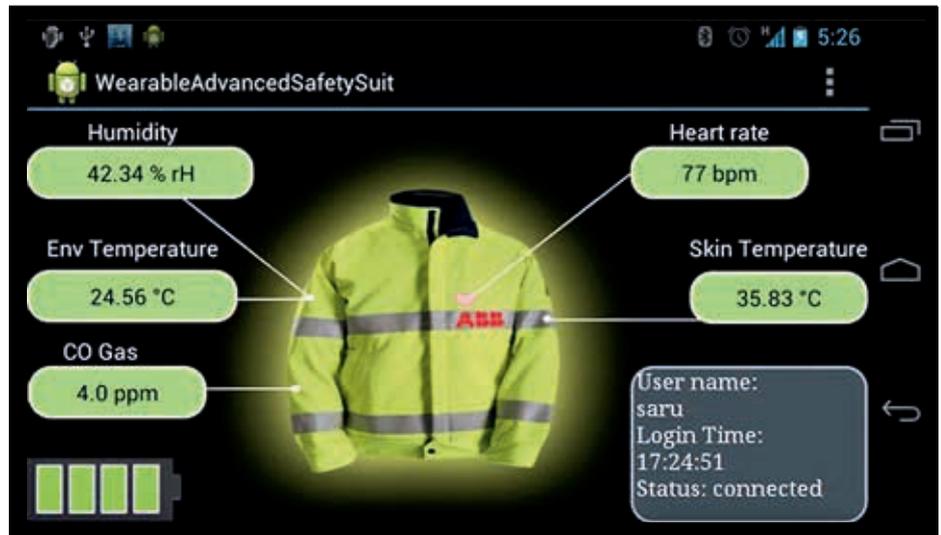
Titelbild

Industrielle Umgebungen profitieren von Wearable-Computing- und Augmented-Reality-Lösungen zur Verbesserung der Anlagenwartung und Arbeitssicherheit.





www.abb.de



Neueste Fortschritte in der mobilen Datenverarbeitung (Mobile Computing) und der Sensorik ermöglichen innovative Lösungen in Form von mobilen Apps und am Körper getragenen Computern (Wearable Computing). Dank mobiler Geräte wie Smartphones und Tablets können Informationen ohne Bindung an einen bestimmten Ort schnell und kostengünstig abgerufen, verarbeitet und kommuniziert werden. Sensortechnologien können Informationen in einer bestimmten Umgebung erfassen und die Daten zur genaueren Betrachtung an ein mobiles Gerät senden. Moderne und robuste mobile Geräte, die mit verschiedenen Arten von Sensoren (z. B. Lichtsensor, Kreisel, GPS, WiFi und Beschleunigungsmesser) sowie erweiterten Funktionen ausgestattet sind, erweisen sich in industriellen Umgebungen als äußerst nützlich.

Das Wearable Computing verleiht der Verbindung von mobilen Geräten und Sensoren eine neue Dimension, bei der die Computer (durch Integration in die Kleidung oder alltägliche Gegenstände) unsichtbar und ständig aktiv sind [1]. Zwar ist dieses Konzept nicht völlig neu, doch bislang standen einer breiteren praktischen Umsetzung meist hohe Kosten und eine mangelnde technische Zuverlässigkeit entgegen [2]. Eine vollständige

Wearable-Computing-Lösung mit einem am Kopf getragenen Display (Head-Mounted Display, HMD) für Funktionen der erweiterten Realität (Augmented Reality, AR) und einer über Gesten gesteuerten Interaktion war teuer. Die Beliebtheit mobiler Apps und die Verfügbarkeit fortschrittlicher mobiler Technologien haben

die Auswirkungen auf den Rest der Anlage zu minimieren. Je schneller auf diese Informationen zugegriffen werden kann, desto rascher lässt sich das Problem lösen. Daher ist die sofortige Verfügbarkeit aktueller Informationen eine wichtige Voraussetzung in jeder modernen Betriebsumgebung.

Die sofortige Verfügbarkeit aktueller Informationen ist eine wichtige Voraussetzung für die Problemlösung und Minderung der Auswirkungen auf den Rest der Anlage.

jedoch die Entwicklung erschwinglicherer Anwendungen ermöglicht, die dem Feldpersonal vor Ort zeitnahe, genaue und detaillierte Informationen liefern.

Unterstützung effizienter Serviceleistungen

Um ein sicheres Arbeiten in Industrieanlagen ohne unerwartete Abschaltungen zu gewährleisten, ist ein einwandfreier Service unabdingbar. Zwar mag die Wartung eines bestimmten Geräts oder Systembereichs für erfahrene Servicetechniker reine Routine sein, doch in komplexen Fällen werden oftmals zusätzliche und aktuelle Informationen zu Kundenprodukten, Anwendungsbereichen, zur Historie der installierten Ausrüstung sowie Serviceverfahren und -prozesse benötigt, um die Problemlösung zu unterstützen und

In global operierenden Unternehmen werden diese Informationen in zahlreichen Datenbanken innerhalb der unternehmensweiten IT-Infrastruktur gespeichert. Ein Beispiel für ein solches System ist ServIS, das Informations-

system für installierte Anlagen von ABB, das sämtliche Informationen zu ABB-Produkten und -Systemen an einem Kundenstandort einschließlich technischer und projektbezogener Angaben festhält. Es ist in andere ABB-Informationssysteme wie ABB Product, ABB People und das globale Kundenidentifikationssystem integriert.

Durch die Nutzung mobiler und am Körper getragener Systeme wie HMDs, Brillen oder Kontaktlinsen zum Abrufen von Informationen über die installierte Ausrüstung können Serviceleistungen noch effizienter bereitgestellt und ausgeführt werden. Mögliche Einsatzzwecke dieser Systeme sind:

- Lokalisierung der Ausrüstung in großen Anlagen: Mithilfe der AR können Informationen über die Lage der

Die Beliebtheit mobiler Apps und die Verfügbarkeit fortschrittlicher mobiler Technologien haben die Entwicklung von Anwendungen ermöglicht, die dem Feldpersonal vor Ort zeitnahe, genaue und detaillierte Informationen liefern.

- Ausrüstung über das reale Bild der Anlage gelegt werden. Der aktuelle Standort des Mitarbeiters kann über einen GPS-Sensor in einem mobilen Gerät ermittelt werden, während die GPS-Position der Ausrüstung aus einem Informationssystem wie ServIS abgerufen wird.
- Identifikation der Ausrüstung: Zur Identifikation der Ausrüstung können fortschrittliche Kennzeichnungs- und
- Situationsbewusstsein: Neueste Veränderungen der Umgebung oder Aktualisierungen, die sich auf die Ausführung der Servicearbeiten auswirken, können dem Servicepersonal direkt und auf unaufdringliche Weise (z. B. per Display am Handgelenk und Smart-Watches) mitgeteilt werden.
- Überwachung der Arbeitsqualität und Dokumentation: Mithilfe von Kameras

und Mikrofonen könnten kontinuierlich Informationen (z. B. Ton- oder Filmaufnahmen) für Anlagenanalyse- und Auditzwecke erfasst werden. Videoaufzeichnungen zur Demonstration von Arbeitsabläufen können dabei helfen, die Qualität der

Mithilfe gängiger Standardkomponenten hat ABB neue Werkzeuge zur sofortigen Bereitstellung wichtiger Umgebungs-, Zustands- und Prozessinformationen vor Ort entwickelt.

- Etikettierungsverfahren wie Strichcodes und NFC- oder RFID-basierte Tags eingesetzt werden. Anhand der im Strichcode oder Tag enthaltenen Daten können weitere Informationen aus Backend-Systemen wie ServIS angefordert werden.
- Zugriff auf verschiedene Arten von Informationen: Neben Informationen wie Serviceberichten, technischen Zeichnungen, Handbüchern und Checklisten könnte das Servicepersonal auf das Prozessleitsystem einer Anlage zugreifen, um Echtzeitwerte verschiedener Prozessgeräte abzurufen, ohne an einen bestimmten Ort gebunden zu sein. Darüber hinaus könnten AR-Funktionen genutzt werden, um reale Bilder mit Arbeitsanweisungen und geräte- oder sicherheitsbezogenen Informationen zu kombinieren [3].
- Arbeiten zu verbessern [4, 5].
- Nahtlose Integration der Mitarbeiter: Mobile und am Körper getragene Lösungen ermöglichen eine nahtlose Integration des Feldpersonals in die Serviceprozesse, wobei Informationen zu Betriebsmitteln unverzüglich abgerufen und aktualisiert werden können. Darüber hinaus könnten sie dem Servicepersonal den Zugriff auf ortsferne Diagnose- und Optimierungsanwendungen oder Expertensysteme ermöglichen, die auf Backend-Systemen oder in einer Cloud zur Verfügung stehen.

Erhöhung der Sicherheit

In einer industriellen Umgebung sind Servicetechniker verschiedenen Arten von Gefahren ausgesetzt. Ein am Körper getragenes System, das in der Lage ist, Umgebungsdaten zu erfassen und War-

Wearable Computing verbindet Mobile Computing und Sensorik in unsichtbaren Sensorgeräten, die genaue Informationen über die komplexe Umgebung liefern können, in der sie eingesetzt werden.

2 Prototyp zur Darstellung von Informationen zu einem Tank in der Kameraansicht eines mobilen Geräts



nungen bezüglich Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Sauerstoffgehalt, giftiger Gase,

grund von Feuer und Rauch nicht sichtbar sind. Darüber hinaus können Rettungs-

manschaften die Standortfunktionalität solcher Geräte nutzen, um Personen zu finden, die sich noch in der Anlage befinden.

ABB ServIS ist ein Unternehmens-Informationssystem, das in andere ABB-Informationssysteme wie ABB Product, ABB People und das globale Kundenidentifikationssystem integriert ist.

Lösungen von ABB

ABB bietet verschiedene Lösungen, die auf mobilen Geräten genutzt werden können:

Lärm oder Strahlung ausgeben sowie Körperfunktionen seines Trägers wie Herzfrequenz bzw. Puls, Müdigkeit, Wachsamkeit und kognitive Belastung oder Stresspegel überwachen kann, würde die Sicherheit des Wartungs- und Servicepersonals erhöhen [6]. Es gibt bereits Geräte für das Handgelenk wie Basis B1, die den Hautwiderstand, den Puls, die Temperatur und sogar den Stresspegel eines Mitarbeiters messen können.

- Die Ventyx Service Suite erleichtert dem Feldpersonal die Wartung von Betriebsmitteln und hilft, Kosten zu senken.
- Das Ventyx Shift Operations Management System (eSOMS) sorgt für Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit beim Betrieb und bei der Wartung von Betriebsanlagen.
- Der Ventyx Advanced Work Management (AWM) Mobile Inspector sammelt und verwaltet Daten für alle physischen Betriebsmittel.

Außerdem können am Körper getragene Systeme Rettungs- und Selbstrettungsmaßnahmen unterstützen. Sie können den Träger vor drohenden Gefahren wie Feuer, Wasser oder mangelnder Atemluft warnen und ihn zu sicheren Fluchtwegen leiten, selbst wenn Notausgangsschilder nicht vorhanden, beschädigt oder auf-

Darüber hinaus wurden auf der Suche nach neuen Möglichkeiten zur Umsetzung von Mobile- und Wearable-Computing-Konzepten verschiedene Prototypen entwickelt. Einer davon bestand aus einer Leuchtweste mit eingenähten Sensoren,

3 Prototyp zur Demonstration, wie Geräte in einer Anlage oder einer Fabrik lokalisiert und Informationen darüber angezeigt werden können



auf die mit einem Smartphone zugegriffen werden konnte. Die Sensoren erfassten Umgebungsbedingungen (Kohlenmonoxidgehalt, Temperatur und Luftfeuchtigkeit) sowie die Körperfunktionen des Trägers (Herzfrequenz und Hauttemperatur) → 1. Ergänzt wurde dies durch Rückmeldeeinrichtungen wie ein Vibrationselement und einen Lautsprecher sowie eine Notfall-/Paniktaste. Alle Komponenten waren über ein sogenanntes Body Area Network (BAN) mit einem Mikrocontroller¹ verbunden. Die Sicherheitskleidung konnte per Bluetooth mit dem Smartphone verbunden werden, auf dem eine App zur Erfassung von Sensordaten, zur Anzeige von Alarmen und zum Senden von Mitteilungen über anormale Bedingungen an eine entfernte Leitstelle und/oder einen Vorgesetzten lief. Die entsprechenden Meldungen enthielten die GPS-Koordinaten vom letzten Standort des Trägers, um ihn schnell auffinden zu können.

In einem weiteren Projekt wurde die Möglichkeit untersucht, AR für Leitsysteme in industriellen Umgebungen zu nutzen. Bei der AR werden Livebilder, wie sie z. B. auf dem Kameradisplay eines mobilen Geräts angezeigt werden, durch computergenerierte Inhalte (z. B. Grafiken) ergänzt. Mehrere Prototypen wurden entwickelt, dar-

unter ein System, bei dem ein Wartungstechniker ein mobiles Gerät auf einen Wassertank richtet. Nach Erkennung des Tanks wird das Kameradisplay durch aktuelle Zustandswerte ergänzt → 2.

Bei einem anderen Prototyp wurden AR- und Sensortechnologien miteinander kombiniert, um die Temperatur eines Objekts zu messen. Wird die Kamera des mobilen Geräts auf das Objekt gerichtet, zeigt das Display dessen Temperaturverlauf an. Die Möglichkeit, historische Daten anzuzeigen, erleichtert Technikern die Fehlersuche und das Testen bei Wartungsarbeiten.

Ein dritter Prototyp zeigte, wie Geräte in Anlagen und Fabriken aufgefunden und identifiziert werden können. Mobile Geräte mit Sensoren bestimmen dabei den Standort eines Feldtechnikers, erkennen Geräte in seiner Nähe und liefern entsprechende Informationen dazu → 3.

Die Verfügbarkeit verschiedener Personal- und Mobile-Computing-Technologien hat die Entwicklung neuer Werkzeuge zur Unterstützung von Serviceaufgaben im Feld ermöglicht. So können mithilfe gängiger Standardkomponenten wichtige Umgebungs-, Zustands- und Prozessinformationen sofort abgerufen und mit anderen geteilt werden, während der Techniker vor Ort unterwegs ist.

Markus Aleksy

ABB Corporate Research
Ladenburg, Deutschland
markus.aleksy@de.abb.com

Elina Vartiainen

ABB Corporate Research
Västerås, Schweden
elina.vartiainen@se.abb.com

Martin Naedele

ABB Power Systems, Network Management
Baden, Schweiz
martin.naedele@ch.abb.com

Literaturhinweise

- [1] T. Kieffner (abgerufen am 19. Juni 2013): „Wearable Computers: An Overview“ [Online]. http://misnt.indstate.edu/harper/Wearable_Computers.html
- [2] V. Stanford (2002): „Wearable computing goes live in industry“. IEEE Pervasive Computing Vol. 1, Issue 4: 14–19
- [3] S. Henderson, S. Feiner (2011): „Exploring the Benefits of Augmented Reality Documentation for Maintenance and Repair“. IEEE Trans. Vis. Comput Graphics Vol. 17, Issue 10: 1355–1368
- [4] D. Roggen et al. (2013): „Opportunistic Human Activity and Context Recognition“. IEEE Computer Vol. 46, Issue 2: 36–45
- [5] F. Naya et al. (2006): „Workers' Routine Activity Recognition using Body Movement and Location Information“. Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers. Montreux, Schweiz
- [6] A. Pantelopoulos, N. G. Bourbakis (2010): „A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis“. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews. Vol. 40, Issue 1: 1–12

Fußnote

- ¹ Die Forscher verwendeten sogenannte E-Textilien zur Integration der Sensoren und Mikrocontroller in die Sicherheitskleidung.



Saubere Luft im Hafen

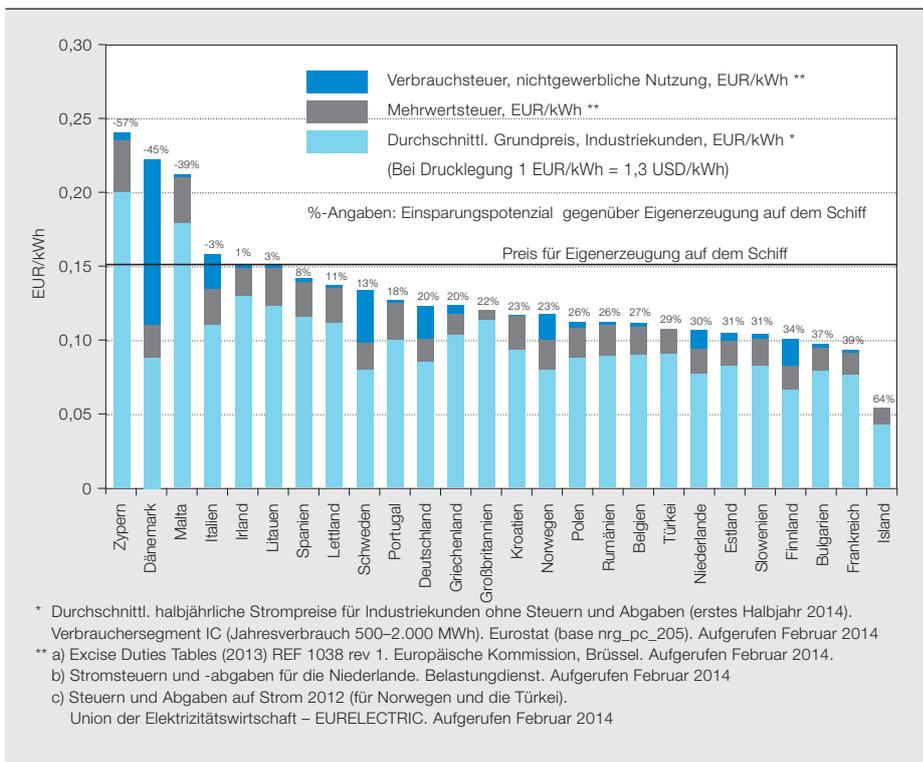
Steuerliche Anreize können die Luftqualität in Häfen verbessern

PETR GURYEV – Die Seeschifffahrt ist das Rückgrat des Welthandels, und die Häfen, in denen die Waren geladen und gelöscht werden, sind für die regionale Wirtschaft nicht selten von lebenswichtiger Bedeutung. Doch wenn viele große und schwere Schiffe im Hafen liegen, kann dies zu einer übermäßigen lokalen Luftverschmutzung führen. Auch wenn ein Schiff an seinem Liegeplatz die Propeller nicht benötigt, laufen die Dieselmotoren in der Regel weiter, um den Hilfsenergiebedarf des Schiffs zu decken. Dieser kann von den Quartieren für die Crew bis hin zur Kühlung und anderen für die Handhabung der Ladung erforderlichen Systemen reichen. Eine Alternative

zur Verwendung der schiffseigenen Dieselmotoren ist der Anschluss der Bordelektrik an eine landseitige Stromversorgung. Die Technik solcher Anschlüsse wurde bereits in vergangenen Ausgaben der *ABB Review*¹ behandelt. Obwohl mehrere Technologien zur Emissionsreduzierung wie Wäscher, gereinigte Kraftstoffe und LNG² zur Verfügung stehen, ist eine vollständige Reduktion der Emissionen von Schiffen im Hafen nur mit einer Landstromversorgung möglich. Die Verbreitung dieser Lösung hängt allerdings nicht nur von technischen und ökologischen Argumenten, sondern auch von regulativen und steuerlichen Anreizen ab.

Mehrere europäische Länder haben bereits Verbrauchsteuerbefreiungen für landseitige Elektrizität eingeführt oder beantragt.

1 Strompreisgefüge im Jahr 2013 ohne Verbrauchsteuerbefreiungen



Strengere lokale, nationale und regionale Vorschriften für Hafenemissionen haben dazu geführt, dass der Markt für die langzeitige Stromversorgung von Schiffen in den letzten fünf Jahren von einer Handvoll Projekte auf mehrere Dutzend Projekte im Jahr gewachsen ist. Die zwei Hauptantriebsfaktoren hierfür sind:

- Die ökologischen Vorteile geringerer Emissionen
- Die Reduzierung der Betriebskosten durch Einsparungen aufgrund der Differenz zwischen den Kosten für die Eigenerzeugung auf dem Schiff und dem Preis für Strom aus dem Netz

Diese Entwicklung wird in vielen Ländern entweder durch Subventionierung entsprechender Investitionen oder die Befreiung der landseitigen Elektrizität von Verbrauchsteuern gefördert. Während in Nordamerika und Asien entsprechende Initiativen zurzeit vorzugsweise durch Subventionen unterstützt werden, gibt es in Europa beide Optionen. Mehrere europäische Länder haben bereits Verbrauchsteuerbefreiungen für landseitige Elektrizität eingeführt oder beantragt. Trotz Berichten in den Medien bleiben die wahren wirtschaftlichen Vorteile bisher weitgehend im Dunkeln. Dabei haben das Strompreisgefüge und die Verbrauchsteuerbefreiung in verschiedenen europäischen Ländern deut-

liche Auswirkungen auf die Amortisationszeit eines Landanschlusses.

Mitte 2011 erhielten Deutschland und Schweden die Genehmigung der Europäischen Kommission zur Senkung der Verbrauchsteuern für Strom, der direkt zur landseitigen Versorgung von Schiffen verwendet wird. Dies ermöglichte eine Senkung der Verbrauchssteuern von 97–99% für einen Zeitraum von drei Jahren mit der Option auf Verlängerung. Im Jahr 2014 wurden die Genehmigungen für beide Länder um weitere sechs Jahre verlängert (Beschlussdokumente COM/2014/0538 und COM/2014/0497). Im Jahr 2013 schlugen der finnische Hafenverband und der dänische Energieverband ihren Regierungen ebenfalls Verbrauchsteuerermäßigungen vor. Während das dänische Parlament am 27. Mai 2014 einer Verbrauchsteuerbefreiung von über 99% (Gesetz L 171) zustimmte, steht in Finnland eine endgültige Entscheidung noch aus.

→ 1 zeigt eine Übersicht über das bestehende Strompreisgefüge mit Tarifen, Mehrwertsteuer und Verbrauchsteuern (einschließlich Umweltsteuern), aber ohne Befreiungen für landseitige Elektrizität, sowie das Einsparungspotenzial gegenüber einer Eigenerzeugung auf dem Schiff mithilfe von MDO/MGO³-Kraftstoffen.

Die hier betrachteten Länder lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen: Länder, in denen der Gesamtstrompreis höher ist als der Preis für die Eigenerzeugung auf dem Schiff und Länder, in denen der Gesamtstrompreis niedriger ist als der Eigenerzeugungspreis. Auch wenn Länder, in denen der Gesamtstrompreis höher ist als der Eigenerzeugungspreis keinen wirtschaft-

Titelbild

Blick auf den Hafen von Ystad in Schweden. Schweden ist eines der führenden Länder, was steuerliche Anreize für die Nutzung landseitiger Elektrizität angeht.

Fußnoten

- 1 Siehe K. Marquart: „Strom von der Kaimauer – Senkung von geräusch- und Treibhausgasemissionen durch die landseitige Stromversorgung von Schiffen im Hafen“. *ABB Technik* 2/2010, S. 82–82; K. Marquart *et al.*: „Landstrom für Schiffe – Eine schlüsselfertige Lösung zur wirksamen Reduzierung des Schadstoffausstoßes von Schiffen im Hafen“. *ABB Technik* 4/2010, S. 56–60; L. *et al.*: „Steckdosen für Schiffe – Land- und schiffsseitige Technologien für die Landstromversorgung von Schiffen und deren Standardisierung“. *ABB Technik* 1/2011, S. 36–40
- 2 LNG = Liquefied Natural Gas (Flüssigerdgas)
- 3 MDO (Marine Diesel Oil, Schiffsdieselloil) und MGO (Marine Gasöl, Schiffsgasöl) sind typische Kraftstoffe, die von Schiffen im Hafen verwendet werden. Der Eigenerzeugungspreis wurde im ABB Business Case Tool für die Landstromversorgung berechnet ausgehend von einem MDO/MGO-Kraftstoffpreis von 950 USD/t und einem Kraftstoffverbrauch von 210 g/kWh. EUR/USD = 1,2982.

In Dänemark und Schweden ist der Anteil der Verbrauchsteuern am Strompreis am höchsten. In Finnland, Deutschland, Italien und Norwegen ist er ebenfalls hoch.

lich interessanten „Business Case“ für die Landstromversorgung darstellen (es sei denn, es wird ein spezieller niedrigerer Grundtarif wie beim Projekt für den Kreuzfahrthafen von Venedig angeboten), bedeutet dies nicht, dass diese Länder für solche Projekte prinzipiell ungeeignet sind. Der Hauptnutzen der landseitigen Stromversorgung bleibt die Emissionsreduktion, und solange beträchtliche Subventionen für die Infrastruktur bereitgestellt werden (wie beim Kreuzfahrterminal in Livorno), wird es solche Projekte geben. Neben Zypern fallen auch Dänemark, Malta und Italien in diese Gruppe.

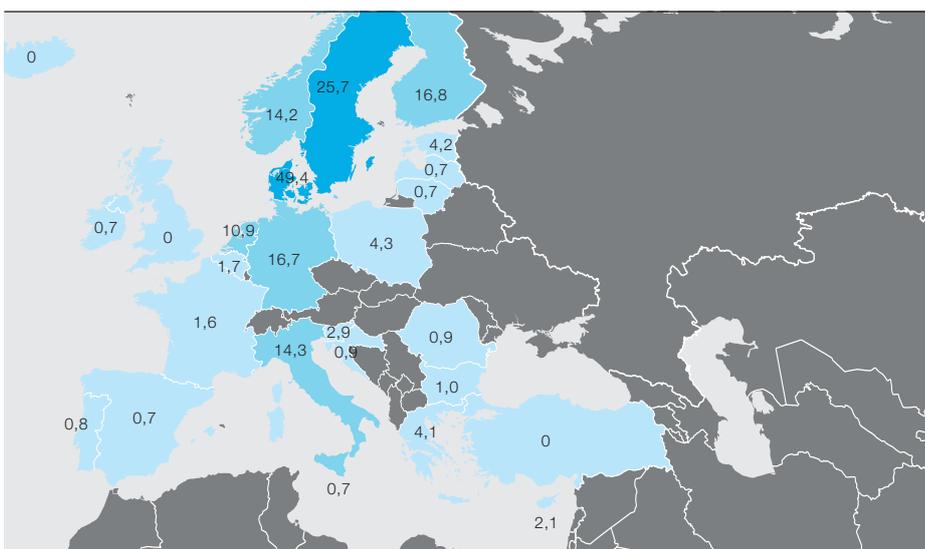
In Dänemark und Schweden ist der Anteil der Verbrauchsteuern am Strompreis am höchsten. In Finnland, Deutschland, Italien und Norwegen ist er ebenfalls hoch; in den Niederlanden mittel und in Polen, Estland und Griechenland niedrig. In den übrigen betrachteten Ländern liegt er zwischen 0 und 2,9 %. In Dänemark, Schweden, Finnland und Deutschland gibt es bereits Verbrauchsteuerbefreiungen oder sie sind beantragt. → 2 zeigt eine Übersicht der zehn Länder mit dem höchsten Verbrauchsteueranteil zusammen mit den Auswirkungen von Steuerbefreiungen auf das Einsparungspotenzial gegenüber einer Eigenerzeugung auf dem Schiff⁴.

→ 3 zeigt die Auswirkungen einer Verbrauchsteuerbefreiung von 99 % auf das Einsparungspotenzial gegenüber einer

Fußnote

4 Neben der Verbrauchsteuerermäßigung für landseitige Elektrizität in Schweden und Deutschland beinhaltet das vom dänischen Parlament verabschiedete Gesetz eine Senkung auf 0,004 DKK/kWh (ca. 0,001 EUR/kWh), was ebenfalls 99 % entspricht. Der finnische Hafenverband nennt in seinem Vorschlag keinen genauen Betrag.

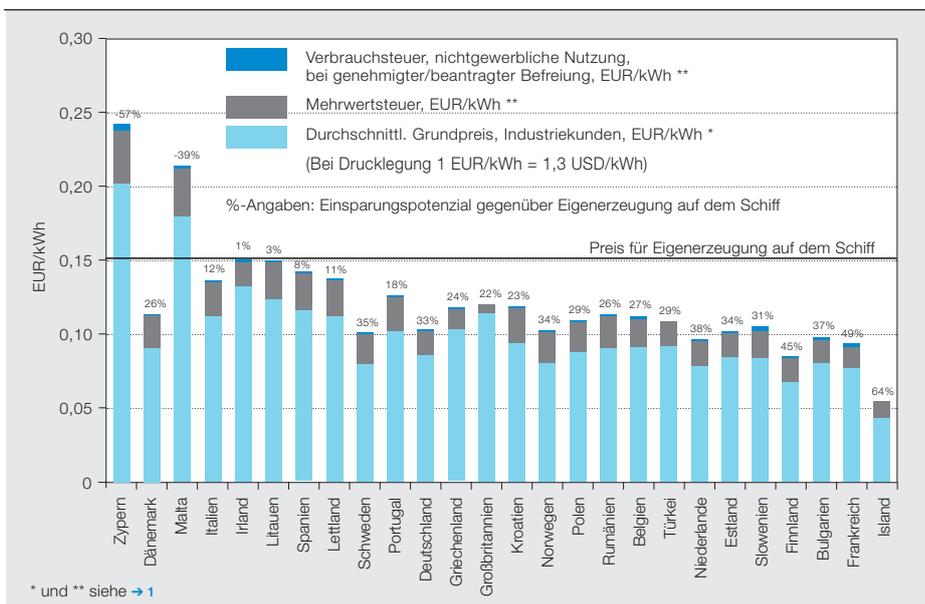
2 Anteil der Verbrauchsteuern am Gesamtstrompreis und Auswirkungen von Befreiungen auf das Einsparungspotenzial



Land	Anteil Verbrauchsteuern am Strompreis (%)	Status der Steuerbefreiung	Einsparungspotenzial			
			Vor Befreiung (%)	Nach Befreiung* (%)	Delt (%)	Rel. Zunahme des Einsparungspotenzials* (%)
Dänemark	49,4	Genehmigt durch Parlament	-45	26	71	273
Schweden	25,7	Genehmigt und verlängert	13	35	22	63
Finnland	16,8	Vorschlag erarbeitet	34	45	11	24
Deutschland	16,7	Genehmigt und verlängert	20	33	13	39
Italien	14,3	Keine Informationen	-3	12	15	125
Norwegen	14,2		23	34	11	32
Niederlande	10,9		30	38	8	21
Polen	4,3		26	29	3	10
Estland	4,2		31	34	3	9
Griechenland	4,1		20	24	4	17

* Unter Berücksichtigung bereits genehmigter/vorgeschlagener, beantragter oder 99%iger Befreiung.

3 Strompreisgefüge im Jahr 2013 mit genehmigter, vorgeschlagener oder potenzieller Verbrauchsteuerbefreiung für Landstrom in ausgewählten Ländern



* und ** siehe → 1

4 Formeln zur Berechnung des Einsparungspotenzials

4a Verbesserung der Amortisationszeit

$$\text{Verb. Amort.zeit} = \frac{\text{Amort.zeit 1} - \text{Amort.zeit 2}}{\text{Amort.zeit 1}} \cdot 100 \%$$

4b Modell zur Beschreibung der vereinfachten (nicht abgezinsten) in → 4a verwendeten Amortisationszeit

$$\text{Amort.zeit Jahre} = \frac{\text{Investitionskosten [EUR]}}{\left(\text{Eig. erz. Preis} \left[\frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} \right] - \text{Str. netz Preis} \left[\frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} \right] \right) \cdot \text{Jahresverbr. [kWh]}}$$

4c Verbesserung der Amortisationszeit für Landstromversorgung nach Steuerbefreiung

$$\text{Verb. Amort.zeit} = \frac{\text{Einsp.pot.2} - \text{Einsp.pot. 1}}{\text{Einsp.pot. 2}} \cdot 100 \% = \text{Relative Zunahme des Einsp.pot. [\%]}$$

Einsp.pot. 1 = Einsparungspotenzial ohne Befreiungen
Einsp.pot. 2 = Einsparungspotenzial mit Befreiungen

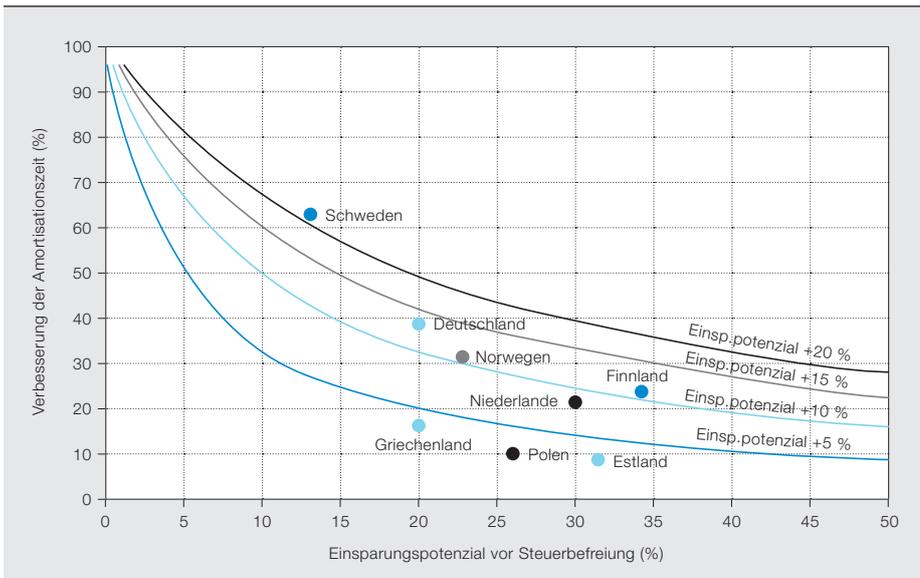
Die meisten europäischen Länder haben attraktive Strompreise, die Einsparungen gegenüber einer Eigenerzeugung auf dem Schiff von 1–30 % ermöglichen.

Anreize zur Emissionsreduzierung

Die meisten europäischen Länder haben attraktive Strompreise, die Einsparungen gegenüber einer Eigenerzeugung auf dem Schiff von 1–30 % ermöglichen. Verbrauchsteuerbefreiungen für landseitige Elektrizität sind ein attraktives Instrument für Länder, in denen der Anteil der Verbrauchsteuern am Gesamtstrompreis hoch ist. Je niedriger das anfängliche Einsparungspotenzial gegenüber der Eigenerzeugung ist, desto höher ist die Auswirkung von Steuerbefreiungen auf die Amortisationszeit. Schweden und Deutschland haben bereits solche Maßnahmen eingeführt, und das dänische Parlament hat vor Kurzem beschlossen, diesem Beispiel zu folgen. Finnland entwickelt zurzeit einen Vorschlag für die steuerliche Begünstigung landseitiger Elektrizität.

Durch die Einführung solcher Befreiungen in den zehn europäischen Ländern mit dem größten Anteil an Verbrauchssteuern am Gesamtstrompreis würde sich der Business Case je nach anfänglichem Gesamtstrompreis und Anteil der Verbrauchsteuern um 10–60 % verbessern. Daher sollte Dänemark die Genehmigung des Europäischen Rats für Steuerbefreiungen einholen, während Finnland, Italien, Norwegen, die Niederlande, Polen, Griechenland und Estland solche Maßnahmen zunächst auf nationaler Ebene durchsetzen sollten.

5 Verbesserung der Amortisationszeit für Landanschlussprojekte in Abhängigkeit vom anfänglichen Einsparungspotenzial und seiner Veränderung nach einer Steuerbefreiung



Eigenerzeugung für die oben aufgeführten sieben Länder neben den bereits genehmigten in Schweden, Deutschland und Dänemark → 3.

Um die Auswirkungen der Steuerbefreiungen auf den jeweiligen Business Case zu bemessen, wurde die Amortisationszeit analysiert. Die Verbesserung der Amortisationszeit lässt sich mithilfe der Formel → 4a bestimmen, wobei die Amortisationszeit durch das vereinfachte (nicht abgezinst) Modell in → 4b geschätzt wird. Die endgültige Verbesserung der Amortisationszeit für eine Landstromver-

sorgung nach der Steuerbefreiung kann mit der Formel → 4c ermittelt werden.

Die Verbesserung der Amortisationszeit ist in → 5 dargestellt (Dänemark und Italien sind hier nicht aufgeführt, da das Einsparungspotenzial vor der Steuerbefreiung negativ war).

Das Diagramm kann ferner zur Bemessung der Auswirkungen von anderen Strompreiselementen (Grundtarif und Mehrwertsteuer) auf die Amortisationszeit verwendet werden.

Petr Guryev

Unabhängiger Berater
petr.guryev@gmail.com

ABB-bezogene Informationen erhalten Sie unter:
shore-to-ship@ch.abb.com

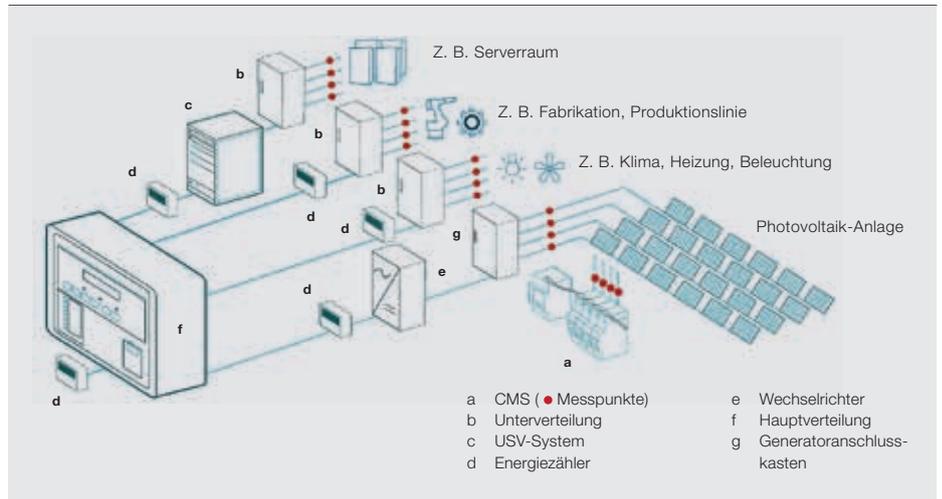


Verbrauchernahe Strommessung

Ein neues Strommesssystem auf der Basis von Modbus

PAWEŁ LUDOWSKI, HARM DEROO, FILIPPO APUZZO, ROLAND PRÜGEL – Unternehmen in der Industrie und Wirtschaft sind stark abhängig vom zuverlässigen Betrieb ihrer elektrischen Systeme. Hinzu kommt ein deutlicher Trend zur effizienteren Nutzung von Energie, angetrieben sowohl von ökologischen als auch finanziellen Aspekten. Während sich der Gesamtenergie- bzw. Gesamtstromverbrauch relativ leicht überwachen lässt, ist eine solche Transparenz auf

Geräteebene nur schwer zu erreichen, und kommerzielle Systeme, die dies versprechen, bleiben in mehreren Bereichen hinter den Anforderungen von ABB zurück. Es ist also ein gänzlich neuer Ansatz zur Überwachung des Stroms in der Nähe des Verbrauchers erforderlich. Dieser heißt ABB Current Measurement System (CMS), und sein Modbus-basiertes Kommunikationsprotokoll ist ein zentrales Element seiner Funktionalität.



Die Entwicklung des Strommesssystems CMS begann im Jahr 2009. Das CMS umfasst mehrere Stromsensoren, die durch einen seriellen Bus mit einer Bedieneinheit (Control Unit) verbunden sind. Die Control Unit und die Strommessmodule wurden in enger Zusammenarbeit mit externen Partnern entwickelt. Das Kommunikationsprotokoll, das einen wichtigen Teil der Funktionalität des CMS ausmacht, basiert auf einem Protokoll, das von ABB in einem früheren Projekt entwickelt wurde.

Das CMS eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Überwachung des Zustands von Stromverteilereinheiten (Power Distribution Units, PDUs) und ihren einzelnen Abzweigen →1. Mithilfe des CMS können nicht nur potenzielle Ausfälle erkannt, sondern auch Überlasten und die damit verbundene Gefahr von Schutzauslösungen vorhergesagt werden.

Kommunikationsprotokoll

Ein wichtiger Teil der CMS-Funktionalität ist das Kommunikationsprotokoll, das die Benutzerkommunikation, die Adresszu-

Titelbild

Wie kann das Modbus-basierte Kommunikationsprotokoll im CMS von ABB dabei helfen, den Stromverbrauch in industriellen Geräten transparent zu machen?

weisung und das Sensormanagement definiert. Dieses Protokoll basiert auf einem bekannten Modbus-Protokoll für serielle Verbindungen und regelt die Kommunikation zwischen der Control Unit und externen Geräten sowie die interne Kommunikation zwischen der Control Unit und den Sensoren. Die bei einem früheren Projekt gewonnenen Erfahrungen halfen ABB und ihren externen Partnern bei der Erstellung einer detaillierten Protokollspezifikation (Hardwareschnittstelle, Datenformat usw.).

Ein vieradriges Flachbandkabel verbindet die Control Unit mit den Sensoren. Zwei der Drähte versorgen die Sensoren mit Strom, die anderen beiden dienen zur Datenübertragung. Für den Anschluss externer Geräte ist eine physische RS-485-Schnittstelle vorgesehen →2.

Modbus verwendet ein Master-Slave-Protokoll. Dabei wird nur ein Master an den seriellen Bus angeschlossen, an den bis zu 247 Slaves angebunden werden können. Im Falle des CMS ist die Control Unit der Master, und die Stromsensoren sind die Slaves.

Die Modbus-Kommunikation wird immer vom Master initiiert, und es ist nur eine Transaktion zur Zeit möglich. Modbus hat zwei Anforderungsmodi: Unicast und Broadcast. Im Unicast-Modus sendet der Master eine Anforderung an ein einzelnes

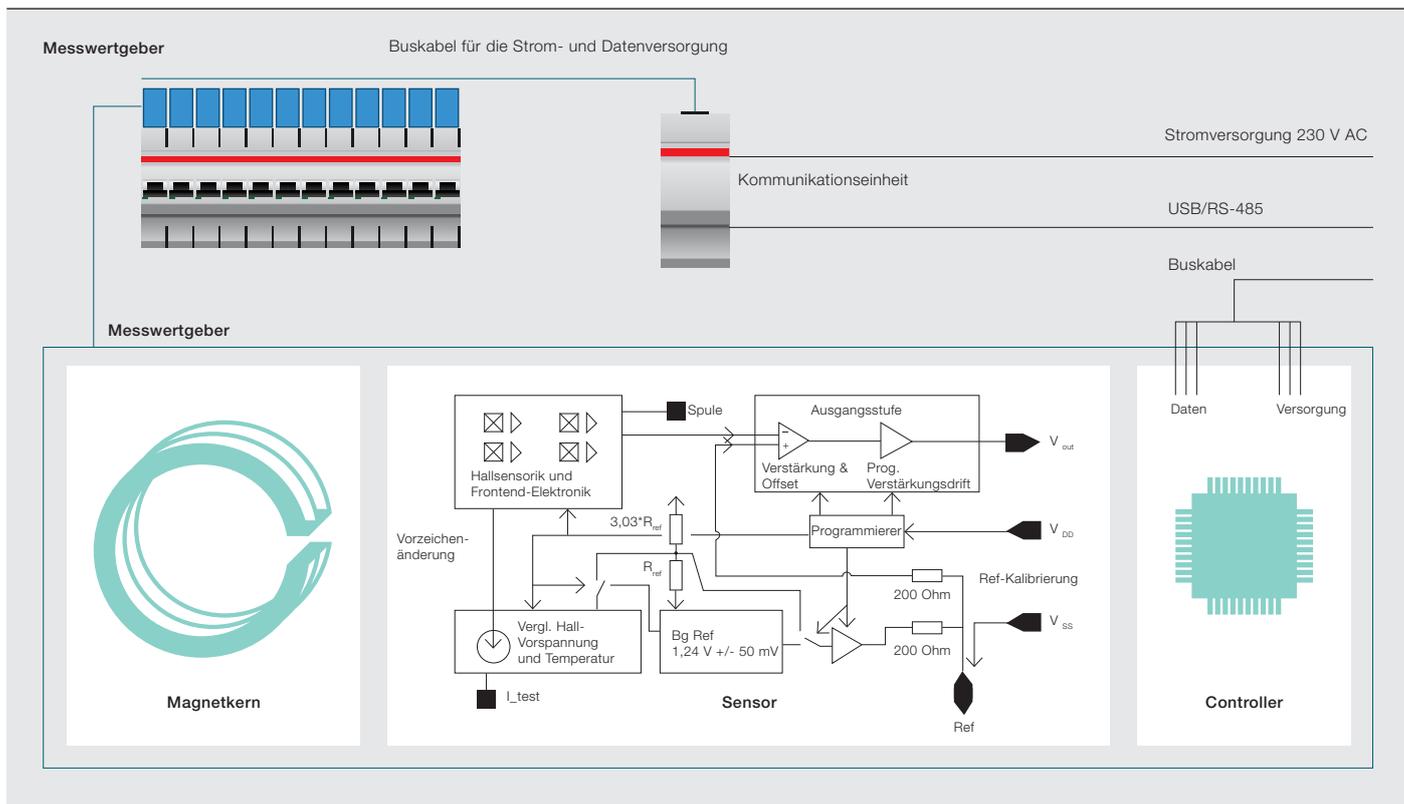
Slave-Gerät, das nach Verarbeitung der Anforderung eine Antwortnachricht sendet.

Das CMS eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Überwachung des Zustands von Stromverteilereinheiten (PDUs) und ihren einzelnen Abzweigen.

Im Broadcast-Modus sendet der Master eine Anforderung an alle Slave-Geräte, aber es erfolgt keine Antwort der Slaves.

Die maximale Größe einer Modbus-RTU-Nachricht (RTU = Remote Terminal Unit, Fernwerkseinheit) beträgt 256 Bytes. Diese müssen als kontinuierlicher Zeichenstrom übertragen werden. Tritt zwischen zwei Zeichen ein Ruheintervall von mehr als 1,5 Zeichen auf, wird die Nachricht als unvollständig angesehen und vom Empfänger abgelehnt. Einzelne Nachrichten müssen durch eine Sendepause von mindestens 3,5 Zeichen Länge getrennt sein.

Modbus verwendet eine „Big-Endian“-Byte-Reihenfolge für Adressen und Datenelemente. Das bedeutet, bei numerischen Größen, die größer sind als ein Byte, wird das höherwertige Byte zuerst übertragen. So wird z. B. der 16 Bit (d. h. zwei Byte) große Hexadezimalwert 1A3B in zwei 8 Bit (d. h. ein Byte) großen Hexadezimalwerten in der Reihenfolge 1A und 3B gesendet.



Mithilfe des CMS können nicht nur potenzielle Ausfälle erkannt, sondern auch Überlasten und die damit verbundene Gefahr von Schutzauflösungen vorhergesagt werden.

Das Modbus-Datenmodell basiert auf einer Reihe von Tabellen, die vier Datentypen spezifizieren: Read-only Discrete Input (Nur-Lesen digitale Eingänge), Read-write Coils (Schreiben-Lesen digitale Ausgänge), Read-only Input Registers (Nur-Lesen analoge Eingangsdaten), Read-write Holding Registers (Schreiben-Lesen analoge Ausgangsdaten). Eine Coil ist eine Boolesche Variable (Bit), während ein Register eine ganzzahlige Variable (Wort) ist. Außerdem gibt es drei Kategorien von Modbus-Funktionscodes: öffentliche Funktionscodes (definiert durch die MODBUS-IDA.com Community), benutzerdefinierte Funktionscodes und reservierte Funktionscodes. Register im CMS

gangsdaten (Input Registers) und Ausgangsdaten, die geschrieben und gelesen werden können (Holding Registers), definiert, unterstützt das CMS-Stromsensormodul nur Holding Registers.

Im CMS wurde das Modbus-Protokoll um einige zusätzliche Merkmale erweitert. Diese initialisieren das Netzwerk, indem sie den Sensoren Modbus-ID-Adressen zuweisen und sie mit entsprechenden Registern in der Control Unit verknüpfen. Standardmäßig haben alle Sensoren dieselbe Adresse (247), sodass während der Installation jedem Sensor eine neue individuelle ID-Adresse zugewiesen werden muss. Da ein CMS-Sensor keinen Hard-

wareschalter zum Festlegen der ID besitzt, musste ein entsprechendes softwarebasiertes Verfahren entwickelt werden. Dieses basiert auf benutzerdefinierten Modbus-Funktionen zur Broadcast-Adressierung. Je nach Installationsanforderungen stehen mehrere Konfigurationsverfahren zur Verfügung; in der allgemeinsten Form sendet das Master-

Ein wichtiger Teil der CMS-Funktionalität ist das Kommunikationsprotokoll, das die Benutzerkommunikation, die Adresszuweisung und das Sensormanagement definiert.

sind immer zwei Bytes (16 Bit) groß. Während das Modbus-Anwendungsprotokoll einen Speicherbereich für nur lesbare Ein-

gangsdaten (Input Registers) und Ausgangsdaten, die geschrieben und gelesen werden können (Holding Registers), definiert, unterstützt das CMS-Stromsensormodul nur Holding Registers.

3 Kompakte CMS-Sensoren



Modul allen Slaves eine Nachricht mit einem kundenspezifischen Code, der eine einmalige Sensor-Serien-ID (SID) und eine neue Modbus-ID enthält. Wenn diese Broadcast-Nachricht gesendet wird, werden alle Geräte am Bus über die den jeweils anderen Geräten zugewiesene ID informiert. Um Konflikte zu verhindern, muss jedes Gerät, das eine Broadcast-Nachricht zur ID-Zuweisung empfängt, seine eigene SID mit der des Zielsensors in der Nachricht vergleichen. Stimmen sie überein, tauscht es seine ID gegen die neue ID in der Zuweisungsnachricht aus. Stimmen sie nicht überein, wird die Anforderung ignoriert.

Das Protokoll entspricht einem globalen Standard, was den Einsatz des CMS in einer Vielzahl verschiedener Kundenanwendungen ermöglicht. Das System ist sehr flexibel und kann herstellerunabhängig durch neue Geräte individuell angepasst und erweitert werden.

Das Kommunikationsprotokoll war 2010 vollständig dokumentiert. Im Jahr 2011 wurde das CMS in die Produktentwicklungsphase überführt, und Ende des Jahres standen die ersten Prototypen der Control Unit und der Sensoren zur Verfügung. Zu diesem Zeitpunkt begannen die intensiven Arbeiten an der Firmware der Geräte.

Tests und Produktion

Für das CMS wurde spezielle Testsoftware in der Programmiersprache Perl geschrieben. Ein neues Perl-Modul wurde erstellt, um das Modbus-RTU-Protokoll zu unterstützen, das um die benutzerspe-

4 Typische Anwendungen

Rechenzentrum

Da Rechenzentren große Energiemengen benötigen, besteht ein erhebliches Kosteneinsparungspotenzial, wenn der Energieverbrauch auch nur um einen geringen Prozentsatz reduziert werden kann. Der Stromverbrauch eines Rechenzentrums auf übergeordneter Ebene ist bekannt. Seine Bestimmung auf Geräteebene ist allerdings knifflig. Dabei können effizienzsteigernde Maßnahmen gerade auf dieser Ebene wirksam umgesetzt werden. Hier kommt das CMS ins Spiel. In Verbindung mit einer SPS (speicherprogrammierbaren Steuerung) vom Typ AC500 und einem Energiezähler kann das CMS einen transparenten Einblick in die Energienutzung liefern. Mehrere solche CMS-Projekte laufen zurzeit, und das Interesse am Markt wächst.

Krankenhaus

Lebenserhaltungssysteme in Krankenhäusern sind buchstäblich lebenswichtig und müssen unterbrechungsfrei funktionieren.

In Verbindung mit SMISLINE TP hilft das CMS dabei, dies sicherzustellen, indem es die Überwachung des Stroms in jedem Zweig des elektrischen Netzes ermöglicht und Betreibern die Gelegenheit bietet, anormale Systemparameter zu erkennen, bevor daraus Probleme entstehen.

Auf diese Weise hat ABB vielen Krankenhäusern geholfen, die Zuverlässigkeit ihrer Einrichtungen zu erhöhen.

zifischen Modbus-Funktionen für CMS erweitert wurde. Das Modul enthält eine Reihe von Funktionen, die zur schnellen und einfachen Erstellung eines Testszenarios sowohl für die Control Unit als auch für die Sensoren genutzt werden können. Diese Funktionen ermöglichen das Testen aller Gerätereister und der benutzerspezifischen Modbus-Funktionen.

Außerdem wurde eine Reihe von Konfigurationsfunktionen geschrieben, die eine einfache Einrichtung und Vorbereitung des CMS für Tests ermöglichen. Eine Log-Datei hält Informationen über alle von der Software durchgeführten Operationen und die an und vom CMS gesendeten Modbus-Nachrichten fest. Um das Einrichten der Software zu vereinfachen, werden die Systemkonfigurationsdaten in XML-Format gespeichert.

Vorteile des CMS

Die erste Produktionsversion des CMS wurde Mitte 2012 fertiggestellt. Die Produkteinführung fand im Juli 2012 auf der Messe „Light + Building“ in Frankfurt statt, wo die kompakte Größe, Technologie, Messergebnisse, Benutzerfreundlichkeit und Flexibilität des CMS präsentiert wurden.

Das CMS eröffnet eine Vielzahl von Überwachungsmöglichkeiten in verschiedenen Industrieanwendungen →3–4. Doch die Fähigkeiten des Systems müssen nicht auf die Strommessung beschränkt bleiben. Weitere innovative Anwendungen werden bereits untersucht.

Die Kommunikation basiert auf einem bekannten Modbus-Protokoll für serielle Verbindungen.

Paweł Ludowski

ABB Corporate Research
Krakau, Polen
pawel.ludowski@pl.abb.com

Harm deRoos

Filippo Apuzzo

Roland Prügel

ABB Low Voltage Products

Schaffhausen, Schweiz

harm.deroos@ch.abb.com

filippo.apuzzo@ch.abb.com

roland-heinrich.pruegel@ch.abb.com



Halbleiter- generationen

Rückblick auf 60 Jahre Halbleiterentwicklung bei ABB

CHRISTOPH HOLTSMANN, SVEN KLAKA, MUNAF RAHIMO, ANDREAS MOGLESTUE – Viele Zeiten des Umbruchs in der Geschichte der Menschheit wurden durch bahnbrechende technische Entwicklungen angetrieben, hatten aber Auswirkungen, die weit über die Technik hinausgingen. Fortschritte in der Navigation führten im 15. Jahrhundert zur Erschließung neuer Handelsrouten zwischen den Kontinenten, und Verbesserungen im Maschinenbau ermöglichten die Industrialisierung im 18. und 19. Jahrhundert. Auch die vergangenen Jahrzehnte waren von einem Wandel ähnlichen Ausmaßes bestimmt, der auf Fortschritte im Bereich der Datenverarbeitung und der Kommunikation – und damit letztendlich auf die Halbleitertechnik zurückzuführen ist. Gleichzeitig haben Halbleiter eine weitere Revolution vorangetrieben, die vielleicht weniger offensichtlich, aber ebenso bedeutend ist: Vom einfachen Aufladen von Mobiltelefonen bis zur Übertragung von Strom über Entfernungen von mehreren Tausend Kilometern ist die Leistungselektronik zu einer wichtigen Grundlage unseres modernen Lebensstils geworden. ABB hat in den vergangenen 60 Jahren eine bedeutende Rolle in der Entwicklung von Leistungshalbleitern und deren Anwendungen gespielt.



Die ABB-Vorgängerunternehmen ASEA und BBC begannen beide Anfang der 1950er Jahre mit der Entwicklung von Halbleitern.

So, wie es bereits große Schiffe vor Heinrich dem Seefahrer und Dampfmaschinen vor James Watt gab, sind die Grundprinzipien heutiger Halbleiteranwendungen älter als die Halbleiter selbst. Frühe Computer basierten auf Relais, Funkgeräte auf Röhren und Stromrichter auf Quecksilberdampfventilen¹ oder mechanischen Schaltern. Die grundlegenden Schaltungstopologien dieser Systeme unterschieden sich nicht allzu sehr von den heutigen Varianten. Doch da Halbleiter kompaktere Bauweisen, eine höhere Zuverlässigkeit, geringere Verluste, niedrigere Kosten und eine höhere Bedienerfreundlichkeit mit sich brachten, ebneten sie der Technik den Weg zu neuen Anwendungen und ermöglichten ein Maß an Leistungsfähigkeit und Ausgereiftheit, das sonst nicht möglich gewesen wäre.

Grundlagen der Halbleitertechnik

Ein Halbleiter verdankt seinen Namen der Tatsache, dass er sowohl die Eigenschaften eines Leiters als auch die eines Nichtleiters aufweisen kann. Sein elektrisches Verhalten kann durch Faktoren wie Verunreinigungen, elektrische Felder, Licht und Temperatur beeinflusst werden. Viele dieser Phänomene waren bereits im 19. Jahrhundert bekannt → 1, doch erst Anfang der 1930er Jahre fand man eine praktikable Erklärung in Form der Bändertheorie, sich auf Erkenntnisse aus der Quantenphysik stützt.

In der Leistungselektronik werden die Eigenschaften von Halbleitern genutzt, um Bauelemente herzustellen, die zwischen einem leitenden Zustand, d.h. es werden starke elektrische Ströme bei möglichst geringer Durchlassspannung durchgeleitet, und einem nichtleitenden Zustand, d.h. es fließt nur ein minimaler Sperrstrom bei einer hohen Sperrspannung, hin- und herwechseln können. Dabei sollte die Übergangsphase zwischen den beiden Zuständen so kurz wie

möglich sein. Das gleichzeitige Vorhandensein einer Spannung und eines Stroms führt zu Verlusten im Bauelement, d. h. es geht nicht nur Energie verloren, sondern es besteht auch die Gefahr einer thermischen Beschädigung.

Die Diode

Die Diode ist das einfachste aller Leistungshalbleiter-Bauelemente. Sie leitet Strom in eine Richtung und sperrt ihn in die andere Richtung. Damit eignet sie sich hervorragend für einfache Gleichrichteranwendungen (d. h. die Umwandlung von Wechsel- in Gleichstrom).

Die ABB-Vorgängerunternehmen ASEA und BBC begannen beide Anfang der 1950er Jahre mit der Entwicklung von Halbleitern – BBC im schweizerischen

Titelbild

300-V/800-A-Thyristoren von BBC aus den frühen 1970er Jahren

Fußnote

¹ Siehe auch: A. Moglestue: „Vom Quecksilberdampf zum Hybridleistungsschalter – 100 Jahre Leistungselektronik“. *ABB Review* 2/2013, S. 70–78

In Gleichrichter-
anwendungen
bieten Thyristoren
gegenüber Dioden
den Vorteil der
Phasenanschnitt-
steuerung und
somit der Regelung
des Leistungs-
flusses.

1 Frühe Meilensteine in der Geschichte der Halbleitertechnik

1787	Antoine Lavoisier identifiziert Silizium als chemisches Element.
1824	Jöns Jacob Berzelius isoliert reines Silizium.
1833	Michael Faraday entdeckt eine Temperaturabhängigkeit im Widerstand von Silbersulfid, die von Metallen abweicht.
1839	Alexandre-Edmond Becquerel entdeckt den photoelektrischen Effekt.
1874	Karl Ferdinand Braun entdeckt den Gleichrichtereffekt an Metallsulfiden.
1886	Clemens Winkler entdeckt das Element Germanium.
1897	Joseph John Thomson entdeckt das Elektron.
1906	Jagdish Chandra Bose, Greenleaf Whittier Pickard und andere entwickeln den Kristalldetektor, einen einfachen Halbleiter-Gleichrichter für Rundfunkempfänger.
1907	Henry Joseph Round erfindet die Leuchtdiode.
1920er	Erste kommerzielle Gleichrichter auf Diodenbasis für Anwendungen mit geringer Leistung
1926	Julius Edgar Lilienfeld beschreibt das Prinzip des Feldeffekttransistors.
1932	Alan Herries Wilson beschreibt Energiebänder.
1939	Russell Ohl entdeckt den p-n-Übergang.
1947	William Shockley, John Bardeen, Walter Brattain und andere bauen bei Bell Labs den ersten Transistor.
1950	William Shockley beschreibt das Prinzip des Thyristors (der erste Thyristor wird 1956 von General Electric hergestellt und 1958 kommerzialisiert; BBC bringt 1960 ihren ersten Thyristor auf den Markt).
1954	BBC und ASEA beginnen unabhängig voneinander mit der Entwicklung von Leistungshalbleitern.

Baden und ASEA im schwedischen Ludvika. BBC baute ihre erste Halbleiterdiode im Jahr 1954 → 2. Die erste kommerziell erhältliche Diode (100 V/100 A), die für Gleichrichtungs- und Elektrolyseanwendungen vorgesehen war, folgte 1956. Für die frühen Dioden verwendete BBC Germanium, das aufgrund seiner Einschränkungen hinsichtlich der Temperatur und der Sperrspannung bald durch Silizium ersetzt wurde.

Der Thyristor

Für anspruchsvollere Anwendungen war ein Bauelement erforderlich, das zu einem beliebigen Zeitpunkt eingeschaltet werden konnte. Das am besten geeignete Konzept bot der Thyristor – ein Bauelement, dessen Wirkprinzip 1950

2 Die erste Halbleiterdiode von BBC (Germanium, 1954)



von William Shockley beschrieben wurde. Ein Thyristor besitzt zwei Hauptkontakte wie eine Diode (die Anode und die Kathode) und einen zusätzlichen Steuerkontakt (das sogenannte Gate). Wird ein Strom am Gate angelegt, beginnt der Thyristor zu leiten (wenn eine positive Spannung zwischen der Anode und der Kathode anliegt). Ist der Thyristor leitend, kann der Zündstrom abgeschaltet werden. Der Thyristor bleibt im leitfähigen Zustand, bis der Laststrom unter einen bestimmten Schwellwert fällt (normalerweise beim Nulldurchgang). Ein beliebiges Abschalten ist nicht möglich, es sei denn, es werden Hilfsschaltungen verwendet, um einen Nulldurchgang künstlich zu erzwingen.

Thyristoren eignen sich somit hervorragend für Wechselrichteranwendungen (d. h. die Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom), in denen das aufnehmende Netz stark genug ist (z. B. durch lokale Erzeugung), um eine Zwangskommütierung des Wechselrichters zu ermöglichen. Außerdem eignen sie sich gut für Gleichrichter, wo sie gegenüber Dioden den Vorteil der Phasenanschnittsteuerung und somit der Regelung des Leistungsflusses bieten. BBC produzierte ihren ersten Thyristor im Jahr 1961 → 3.

Erfolgreiche Traktionsanwendungen

Eine frühe erfolgreiche Anwendung von Dioden im Traktionsbereich war die Lokomotive Re 4/4 (4.980 kW), die ab 1964 für die schweizerische Bahngesellschaft BLS gebaut wurde → 4. Diese Lokomotiven sind mit ihren ursprüng-

3 Im Jahr 1961 brachte BBC ihren ersten Thyristor (1.200 V/100 A) auf den Markt. Die Dioden erreichten 650 V/200 A.



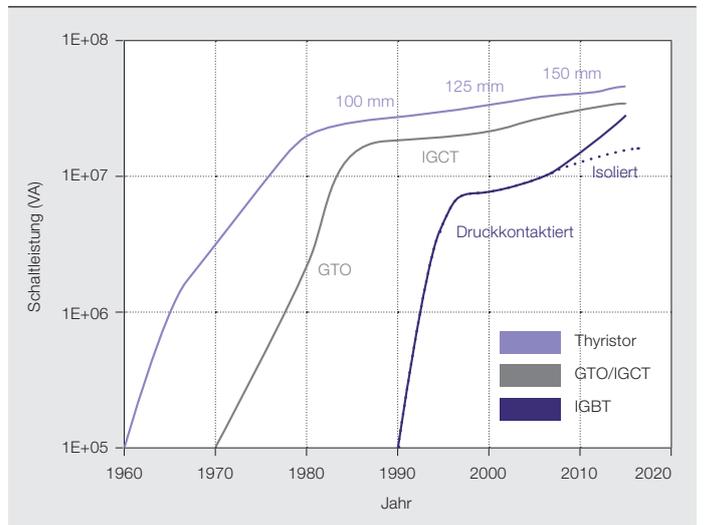
4 In der Lokomotive vom Typ Re 4/4 (1964) der BLS (Schweiz) kommen BBC-Dioden zum Einsatz.



5 Die Lokomotive vom Typ Rc (1967) der SJ (Schweden) ist mit Thyristoren von ASEA ausgerüstet.



6 Entwicklung der Schaltleistung



Eine frühe erfolgreiche Anwendung von Dioden war die Lokomotive Re 4/4, die ab 1964 für die schweizerische BLS gebaut wurde.

lichen Gleichrichterschaltungen noch immer in Gebrauch.

Da ein Diodengleichrichter nicht direkt steuerbar ist, wurde die Zugkraft über einen Stufenschalter am Transformator

geregelt. Aufgrund des raschen Fortschritts begann ASEA im Jahr 1967 mit dem Bau einer thyristorgesteuerten Lokomotive – dem Typ Rc mit 3.600 kW für die schwedische Staatsbahn SJ → 5. Auch von diesem Typ sind viele Lokomotiven noch heute in Betrieb.

Verbesserungen bei den Halbleitern

Von 1960 bis 1980 stiegen die Sperrspannungen und die Leistung, die von einzelnen Bauelementen bewältigt werden konnte, nahezu linear → 6-7. Im Jahr 1976 führte BBC als erster europäischer Hersteller die Neutronen-Transmutationsdotierung ein (als Alternative zur Dotierung mit Phosphoratomen wird das Silizium mit Neutronen beschossen, wodurch einige der Siliziumatome in Phosphor umgewandelt werden). Dies bewirkt eine sehr homogene Konzentration des Dotierungsstoffs und ermöglich-

te einen Anstieg der Sperrspannungen auf 4 kV.

Im Jahr 1969 übernahm BBC das Unternehmen Sécheron mit der Absicht, die Halbleiteraktivitäten des Unternehmens mit den eigenen zu bündeln. Pläne zum Bau einer gemeinsamen Fertigungsstätte auf Sécheron-eigenem Land im schweizerischen Gland scheiterten jedoch. Stattdessen wurde 1969 ein hervorragend ausgestattetes, modernes Werk in Lampertheim (Deutschland) eröffnet. Im darauf folgenden Jahr entschloss man sich, die gesamte Fertigung dort zu konzentrieren. Trotzdem wurden einige der Aktivitäten in der Schweiz von Ennetbaden nach Birr transferiert. Schwerpunkt dieser Aktivitäten war die Entwicklung und Pilotfertigung, es wurden aber auch kleine Stückzahlen kommerziell gefertigt.

7 Meilensteine in 60 Jahren Halbleitertechnik bei ABB

1954	Beginn der Halbleiterentwicklung in Ludvika (ASEA) und Baden (BBC)
1956	BBC bringt ihre erste Diode auf den Markt (100 V/100 A).
1961	Einführung des ersten BBC-Thyristors (1.200 V/100 A). Dioden erreichen 650 V/200 A.
1969	Eröffnung des neuen BBC-Werks in Lampertheim
1970	Thyristoren erreichen 3.000 V/800 A.
1976	Einführung der Neutronen-Transmutationsdopierung (BBC)
1977	Eröffnung des neuen BBC-Werks in Lenzburg
1980	Thyristoren erreichen 5 kV/2 kA.
1988	ASEA und BBC fusionieren zu ABB.
1990	Verkauf des Werks Lampertheim an IXYS
1991	Konzentration der ABB-Halbleiteraktivitäten in Lenzburg
1992	Vorstellung des IGBT-Prototyps für 4,5 kV/600 A
1995	Erste Prototypen des IGCT für 4,5 kV/3 kA GTOs und Dioden erreichen 4,5 kV/4 kA.
1996	Einführung des 3,3-kV/1,2-kA-IGBT-Moduls für Traktionsanwendungen Einführung der BCT-Technologie (bidirektional gesteuertes Thyristor)
1997	ABB bringt eine komplette IGCT-Reihe von 500 kW bis 9 MW auf den Markt. Einführung des 4,5-kV/1,2-kA-IGBT-Moduls mit integriertem Kühlkörper für Traktionsanwendungen Einführung des 2,5-kV/700-A-IGBT für HVDC Light®
1998	Eröffnung der 5"-IGBT-Waferfertigung in Lenzburg
2000	Einführung der 2,5-kV-StakPak-Module für HVDC Light
2001	Einführung des IGBT für 1,2 kV–1,7 kV auf Basis der Thin Wafer Soft Punch-Through (SPT) Plattform
2003	Einführung der Plattform für Hochspannungs-SPT-IGBT/Dioden (mit rekordverdächtigem sicherem Arbeitsbereich) Einführung der HiPak-Modulplattform für SPT-IGBT mit 2,5 kV-3,3 kV Erweiterung auf 6"-IGBT-Waferfertigung in Lenzburg
2005	Einführung der HS-HiPak-Modulplattform für SPT-IGBT mit 3,3 kV–6,5 kV
2006	Einführung der verlustarmen SPT+-IGBT-Plattform für 1,2 kV–6,5 kV
2007	Einführung der High-Power-Technology (HPT)-IGCT-Plattform
2009	Einführung des 8,5-kV/8-kA-Thyristors Einführung der Hochspannungs-BIGT-Technologie Erweiterung der Kapazität in Lenzburg und Akquisition von Polovodice
2010	Einführung der 4,5-kV-StakPak-Module für HVDC Light Vorstellung der 10-kV-IGCT-Technologie
2011	Demonstration des BIGT für HGÜ-Leistungsschalter Spatenstich für WBG-Labor in Baden-Dättwil Einführung des verbesserten HiPak 2013
2013	Einführung der BGCT-Technologie (IGCT mit rückwärts leitender Diode auf demselben Wafer)
2014	Einführung der Enhanced-Trench-IGBT-Technologie 60 Jahre Halbleitertechnik bei ABB

8 Die HGÜ-Anlage Cahora Bassa (Mosambik) aus dem Jahr 1977



HGÜ

Obwohl ASEA während der Quecksilberdampf-Ära aufgrund der hohen Sperrspannungen ihrer Ventile auf dem Gebiet der HGÜ-Technik (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) führend war, erkannte das Unternehmen, dass die Zukunft in der Halbleitertechnik lag. Im Jahr 1967 wurde die 1954 errichtete, erste kommerzielle HGÜ-Verbindung zwischen der Insel Gotland und dem schwedischen Festland versuchsweise mit einem Halbleiterventil ausgestattet. Die erste kommerzielle Anwendung von Halbleitern für die HGÜ folgte 1970 an gleicher Stelle².

Die bahnbrechende Einführung von Halbleitern in der HGÜ öffnete den Markt für den Wettbewerb mit anderen Unternehmen. Ein Konsortium aus AEG, Siemens und BBC realisierte 1977 die HGÜ-Verbindung Cahora Bassa (1.920 MW, 1.450 km) in Mosambik → 8 und 1978 das Nelson-River-Projekt in Kanada (900 MW, 940 km im Jahr 1985). Die Thyristorfertigung für diese Projekte wurde unter den drei Partnern aufgeteilt. Die BBC-Thyristoren wurden in Birr gefertigt (Lampertheim war für die erforderlichen Prozesse noch nicht eingerichtet). Im Jahr 1979 wurden die Aktivitäten in ein neues Werk im schweizerischen Lenzburg transferiert.

Angesichts des neuen Wettbewerbs intensivierte ASEA ihre Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Thyristoren, um ihre Führungsposition zu festigen. Im Jahr 1984 realisierte das Unternehmen die rekord-

trächtige HGÜ-Verbindung von Itaipu in Brasilien (780 km, 500 kV/6.300 MW).

Der GTO

Der größte Nachteil des Thyristors ist, dass er zur Unterstützung der Kommutation eine Hilfsschaltung benötigt, wenn das aufnehmende Wechselstromnetz schwach ist oder er zur Gleichspannungswandlung eingesetzt wird. Der abschaltbare Thyristor (Gate Turn-Off Thyristor, GTO) löst dieses Problem. Ein GTO ist ein Thyristor, der durch einen negativen Strom am Gate abgeschaltet werden kann. Ein beliebtes Einsatzgebiet von GTOs waren Antriebsanwendungen für Motoren. Obwohl GTOs bereits ab 1960 erhältlich waren, stiegen BBC und ASEA erst spät in diesen Markt ein. BBC brachte ihren ersten GTO (1.400 V) 1980 auf den Markt. Eine Technologietransfervereinbarung mit Toshiba im Jahr 1985 ermöglichte es dem Unternehmen schließlich, seinen Rückstand aufzuholen.

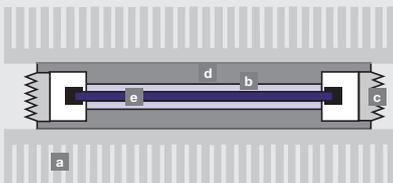
Trotz dieses verspäteten Einstiegs wurde ABB später zum führenden Hersteller von GTOs. Dies lag nicht zuletzt daran, dass viele Mitbewerber irrtümlicherweise davon ausgingen, dass die Tage dieser Technologie (aufgrund der Entwicklung des IGBT) gezählt waren, und ihre Aktivitäten vorzeitig herunterfahren.

Fußnote

² Siehe auch: A. Moglestue: „60 Jahre HGÜ – Der Weg von ABB vom Pionier zum Marktführer“. *ABB Review* 2/2014, S. 33–41

9 Querschnitt durch ein Druckkontaktmodul

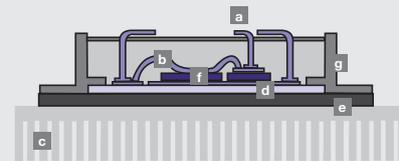
Bei Druckkontaktmodulen tritt der Laststrom durch die Oberfläche auf der einen Seite (d) ein und auf der gegenüberliegenden Seite wieder aus. Ein hoher mechanischer Druck auf den Flächen sorgt für einen niedrigen elektrischen und thermischen Widerstand in den Kontakten.



- | | |
|-------------------------|--------------|
| a Kühlkörper | d Kupfer |
| b CTE-Kompensation (Mo) | e Halbleiter |
| c Gehäuse (Keramik) | |

10 Querschnitt durch ein HiPak-IGBT-Modul

Bei Modulen mit isoliertem Gehäuse ist der Halbleiter (f) galvanisch vom Kühlkörper (c) getrennt. Die elektrische Verbindung innerhalb des Moduls erfolgt durch Bonddrähte.



- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| a Leistungs- und Steueranschlüsse | d Keramik (meist AlN) |
| b Bonddraht | e Bodenplatte (meist AlSiC) |
| c Kühlkörper | f Halbleiter |
| | g Gehäuse |

11 3,3-kV-HiPak-Modul aus dem Jahr 2003



Die Fusion

Nach der Fusion von ASEA und BBC zu ABB im Jahr 1988 entschloss man sich, sämtliche Halbleiteraktivitäten in Lenzburg zu konzentrieren. Das Werk in Lampertheim wurde 1990 an IXYS verkauft, das Werk in Västerås 1991 geschlossen.

Die Halbleiterfertigung von ABB wurde in ein Tochterunternehmen, ABB Semiconductors Ltd., übertragen. Zuvor galten Halbleiter bei ABB eher als internes Geschäft, bei dem die Elemente vornehmlich zur Erfüllung der Anforderungen anderer Unternehmensteile entwickelt und gefertigt wurden. ABB Semiconduc-

tor das Unternehmen von General Electric als „Supplier of the Year“ ausgezeichnet.

Nilarp setzte sich auch für das Halbleitergeschäft innerhalb von ABB ein, als der Konzern seine Prioritäten an anderer Stelle sah. Seine größte Errungenschaft in dieser Hinsicht war die Sicherung der Finanzmittel und der Genehmigung für das neue BiMOS-Werk (IGBT und Diode), das 1998 in Lenzburg eröffnet wurde.

IGBT

Ein IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) ist ein Schaltelement, das durch Anlegen einer Spannung anstelle eines Stroms am Gate gesteuert werden kann, was das Design der Ansteuereinheiten erheblich vereinfacht. Eine weitere günstige Eigenschaft liegt in der Kurzschlussfestigkeit des IGBT.

Steigt die Durchlassspannung über ein kritisches Niveau, begrenzt der IGBT den Strom von sich aus. Damit ist ein IGBT in der Lage, außergewöhnliche Betriebsbedingungen ohne zusätzliche Schutzbeschaltung zu überstehen. Alle diese Faktoren ermöglichen den Bau einfacherer Stromrichter.

Ein weiterer Vorteil von IGBTs liegt in ihrer mechanischen Installation. GTOs und Thyristoren mit höherer Leistung sind in der Regel Druckkontaktmodule → 9, d.h. der Strom fließt „vertikal“ von einer Oberfläche zur anderen. Um eine zuverlässige elektrische und thermische Leitfähigkeit

zu gewährleisten, werden die Bauelemente unter einem bestimmten Druck in Stapeln (sog. Stacks) montiert. Fällt ein Bauelement aus, kann dies nicht einfach ausgetauscht werden, ohne dass der gesamte Stack zerlegt werden muss. In isolierten IGBT-Modulen fließt der Strom durch die externen Anschlüsse des Moduls, die alle auf derselben Seite des Moduls angeordnet sind → 10. Der interne elektrische Kontakt zu den Bauelementen wird durch sogenannte Bonddrähte hergestellt, wobei die thermische Leitfähigkeit durch die nichtleitende Bodenplatte gewährleistet wird → 11. Die mechanischen und elektrischen Verbindungen sind verschraubt, d.h. einzelne Elemente können leichter ersetzt werden. Es gibt jedoch Anwendungen, die druckkontaktierte Module erfordern (wenn sich ausgefallene Module aus Redundanzgründen kurzschließen und kurzgeschlossen bleiben sollen). Für solche Anwendungen sind die ABB StakPak-IGBT-Module vorgesehen → 12.

Da die Fertigungsanlagen von ABB anfänglich nicht für die Komplexität des IGBT-Fertigungsprozesses eingerichtet waren, wurden Teile des Prozesses zunächst ausgelagert. Seit Fertigstellung des BiMOS-Werks in Lenzburg im Jahr 1998 ist ABB in der Lage, die gesamte IGBT-Fertigung in-house abzuwickeln.

In den Folgejahren eröffneten technische Verbesserungen in Form von niedrigeren Verlusten und einer höheren Robustheit den IGBTs viele Märkte, die zuvor von GTOs dominiert wurden (z. B. Schiffsantriebe und Schienenfahrzeuge), aber auch neue Anwendungen wie Stromrichter für

Nach der Fusion im Jahr 1988 entschloss sich ABB, sämtliche Aktivitäten in Lenzburg zu konzentrieren.

tors brach mit diesem Paradigma und vergrößerte den Marktanteil von ABB durch den aktiven Verkauf von Halbleitern an externe Systemhersteller.

Anders Nilarp, CEO von ABB Semiconductors, erlangte bald den Ruf eines charismatischen Managers, der ständig bemüht war, seine Mitarbeiter zu motivieren und zu stärken. Sein kontinuierliches Streben nach einer höheren Qualität sowohl bei den Produkten als auch den Prozessen brachte ABB Semiconductors 1995 in die Ausscheidung zum Europäischen Qualitätspreis. Im Jahr 1996 wurde



die Windenergie, leistungselektronische Transformatoren und der bahnbrechende Hybridleistungsschalter für die HGÜ, der 2013 von ABB eingeführt wurde³.

Thyristoren und GTOs behaupten sich

Auch wenn man denken könnte, dass die rasche Verbreitung der IGBTs die Ära der GTOs ebenso schnell beenden würde, sind diese Bauelemente noch immer gefragt und werden weiterentwickelt.

Im Jahr 1997 brachte ABB ein neues GTO-basiertes Bauelement auf den Markt – den IGCT (Integrated Gate-Commutated Thyristor). Ein IGCT ist im Wesentlichen ein GTO mit einer integrierten Gate-Einheit. Das Dotierungsprofil sorgt für geringere Verluste, während ein starker, aber kurzer Stromimpuls ein schnelles Abschalten ermöglicht → 13.

Auch der Thyristormarkt floriert weiterhin, denn der Thyristor bleibt unangefochten das Halbleiterbauelement Nummer eins für Hochleistungs-HGÜ-Verbindungen. Im Jahr 2009 brachte ABB einen 150 mm großen 8,5-kV-Thyristor für solche Projekte auf den Markt.

Um ihre Präsenz auf dem Markt für bipolare Halbleiter weiter zu stärken, übernahm ABB im Jahr 2010 das Prager Unternehmen Polovodice. Die Fertigung

Ein IGBT ist ein Schaltelement, das durch Anlegen einer Spannung anstelle eines Stroms am Gate gesteuert werden kann, was das Design der Ansteuereinheiten erheblich vereinfacht.

von bipolaren Halbleitern erfolgt heute sowohl in Prag als auch in Lenzburg. Im selben Jahr wurde in Lenzburg die Kapazität für die Fertigung von BiMOS und Bipolar-Halbleitern erweitert. Damit besitzt ABB eine starke Position und Fertigungskapazität auf beiden Märkten.

Siliziumkarbid

Mit Blick auf die Zukunft wurde 2013 im ABB-Forschungszentrum in Baden-Dättwil (Schweiz) der Grundstein für ein Labor zur Erforschung von Halbleitermaterialien mit großem Bandabstand gelegt. Halbleiter aus Siliziumkarbid (SiC) zeichnen sich z. B. durch geringere Verluste als Silizium und eine bessere Wärmebeständigkeit aus. Die ABB-Vorgängerunternehmen haben sich bereits in den 1960er und 1990er Jahren mit SiC befasst, doch mittlerweile ist das Wissen über die notwendigen Fertigungsverfahren so weit fortge-

schritten, dass solche Bauelemente machbar werden.

Bereit für die Zukunft

Der elektrischen Energieversorgungskette, d. h. Übertragung, Umwandlung und Bereitstellung von elektrischem Strom, stehen aufregende Zeiten der Veränderung bevor. Zu den besonderen Herausforderungen gehören die verstärkte Nutzung und Integration von erneuerbaren Energien sowie die Sicherung einer höheren Effizienz. Ohne die Fortschritte auf dem Gebiet der Halbleiter, die diese Revolution erst ermöglichen, würden solche Forderungen nur Wunschdenken bleiben.

Christoph Holtmann

Sven Klaka

Munaf Rahimo

ABB Semiconductors Ltd.

Lenzburg, Schweiz

christoph.holtmann@ch.abb.com

sven.klaka@ch.abb.com

munaf.rahimo@ch.abb.com

Andreas Moglestue

ABB Review

Zürich, Schweiz

andreas.moglestue@ch.abb.com

Fußnote

- 3 Siehe auch: M. Callavik et al.: „Durchbruch! – Der ABB HGÜ-Hybridschalter – ein innovativer Durchbruch auf dem Weg zu zuverlässigen HGÜ-Netzen“. *ABB Review* 2/2013, S. 7–13

Weiterführende Literatur

- H. Zeller: „Siegesszug der Chips – Die Geschichte der Leistungshalbleiter bei ABB“. *ABB Technik* 3/2008, S. 72–78

Editorial Board

Claes Ryttoft

Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Ron Popper

Head of Corporate Responsibility

Christoph Sieder

Head of Corporate Communications

Ernst Scholtz

R&D Strategy Manager
Group R&D and Technology

Andreas Moglestue

Chief Editor, *ABB Review*

Herausgeber

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

ABB Technology Ltd.
ABB Review
Affolternstrasse 44
CH-8050 Zürich
Schweiz
abb.review@ch.abb.com

Die *ABB Review* erscheint viermal pro Jahr in Englisch, Französisch, Deutsch und Spanisch. Die *ABB Review* wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind. Wenn Sie an einem kostenlosen Abonnement interessiert sind, wenden Sie sich bitte an die nächste ABB-Vertretung, oder bestellen Sie die Zeitschrift online unter www.abb.com/abbreview.

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

Herausgeber und Copyright © 2014
ABB Technology Ltd.
Zürich, Schweiz

Satz und Druck

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn, Österreich

Layout

DAVILLA AG
Zürich, Schweiz

Übersetzung

Thore Speck, Dipl.-Technikübersetzer (FH)
D-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

www.abb.com/abbreview



Vorschau 4|14

Das Stromnetz von morgen

Die Vision von ABB für das Stromnetz der Zukunft ist ein sich selbst überwachendes System auf der Basis branchenweiter Standards – ein stabiles, sicheres, effizientes und ökologisch nachhaltiges Netz, das über nationale und internationale Grenzen hinausgeht und Möglichkeiten für den Energiehandel bietet. Zurzeit findet eine Annäherung zwischen den geschäftlichen Gegebenheiten in der Energiewirtschaft, dem Energiebedarf der modernen Gesellschaft und den Nachhaltigkeitsanforderungen der Umwelt, in der wir leben, statt. Das Stromnetz der Zukunft wird dieselbe grundlegende Infrastruktur nutzen, die wir heute kennen, aber auch eine neue Generation fortschrittlicher Überwachungs-, Steuerungs- und Kommunikationstechnologien. Das Ergebnis wird ein weitgehend automatisiertes Netz sein, das über die notwendige Intelligenz verfügt, um sich selbst zu betreiben, überwachen und sogar zu reparieren. Dieses „Smart Grid“ wird flexibler, zuverlässiger und besser in der Lage sein, die Bedürfnisse einer digitalen Wirtschaft zu erfüllen.

ABB Review auf dem Tablet

Die *ABB Review* ist nun auch als Tablet-Version verfügbar. Besuchen Sie uns unter <http://www.abb.com/abbreview>

Bleiben Sie auf dem Laufenden ...

Haben Sie eine Ausgabe der *ABB Review* verpasst? Lassen Sie sich auf bequeme Weise informieren, wenn eine neue Ausgabe der *ABB Review* (oder ein Special Report) veröffentlicht wird. Melden Sie sich unter folgender Adresse für die *ABB Review* Mailingliste an: <http://www.abb.com/abbreview>





Ihre Produktion Tag und Nacht am Laufen halten?

Sicher.

Die Erfahrung von ABB in der Bergbau-, Mineralaufbereitungs- und Zementindustrie begann vor über 50 Jahren. Seitdem haben wir über 250 anlagenweite Elektrik-, Leittechnik- und Infrastrukturlösungen in mehr als 45 Ländern installiert. Die Modernisierung einer bestehenden Anlage nach neuesten Standards, Produktions- und Effizianz Anforderungen – während sie sich im Betrieb befindet – erfordert andere Fähigkeiten und Kompetenzen als ein Neubau auf der grünen Wiese. Unsere Experten kennen die verschiedenen Prozesse im Bergbau und in der Mineralaufbereitung genau und verfügen über das notwendige Know-how zur Umsetzung komplexer Projekte – stets mit dem Ziel, Ihre Produktion Tag und Nacht am Laufen zu halten.

Weitere Informationen unter www.abb.com/mining