
WHITE PAPER

Datengestützte Entscheidungsfindung zur Steigerung der Energieeffizienz



Digitale Lösungen verbessern die Energieeffizienz von drehenden elektrischen Maschinen

Der Energieverbrauch macht in Branchen, in denen viele Motoren und Antriebe zum Einsatz kommen, einen Großteil der Betriebskosten aus. Rund 70 Prozent des verbrauchten Stroms gehen auf das Konto von Elektromotoren.¹ Da viele dieser Antriebssysteme alt und ineffizient sind, können Unternehmen hier gut ansetzen, wenn sie ihre Energieeffizienz verbessern und ihre Energiekosten senken wollen.



Derzeit sind weltweit mehr als 300 Millionen motorbetriebene Systeme in Betrieb. Da diese Zahl aller Voraussicht nach noch steigen wird, gewinnt die Verbesserung der Effizienz von Antriebssystemen zunehmend an Bedeutung. Tatsächlich ließe sich der weltweite Stromverbrauch schätzungsweise um bis zu zehn Prozent senken, wenn alle derzeit eingesetzten Motoren durch hocheffiziente Antriebssysteme ersetzt würden.²

Eine Möglichkeit, die Energieeffizienz zu verbessern, ist die Modernisierung älterer und weniger effizienter Anlagen mit neueren, effizienteren Lösungen. Modernisierung ist jedoch nur ein erster Schritt im Verbesserungsprozess. Digitale Lösungen bieten neue Funktionen, die eine kontinuierliche Optimierung der Energieeffizienz möglich machen. Das Potenzial dieser digitalen Lösungen kann jedoch nur voll ausgeschöpft werden, wenn Anlagen und Prozesse mit dem Internet der Dinge (IoT) verbunden sind. Dann können Daten über den tatsächlichen Energieverbrauch gesammelt, überwacht und ausgewertet werden. Anhand der so gewonnenen Erkenntnisse können Serviceexperten – der Kunden oder ihrer Servicepartner – Ineffizienzen und Einsparungspotenziale identifizieren und Maßnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung empfehlen.

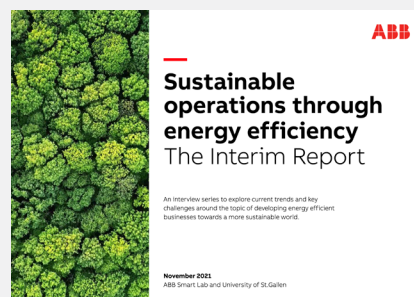
In diesem Whitepaper werden einige dieser bereits heute verfügbaren digitalen Lösungen vorgestellt. Außerdem wird anhand von Fallbeispielen aufgezeigt, wie sie für konstante Energieeffizienz sorgen und neue, ergebnisorientierte Geschäftsmodelle möglich machen.

Studie zum Branchentrend in Richtung Energieeffizienz

Um künftige Markterfordernisse und die Einstellung der Industrie zur Energieeffizienz besser beurteilen zu können, hat ABB in Partnerschaft mit der Schweizer Universität St. Gallen eine Studie durchgeführt.

Teilgenommen haben Unternehmen verschiedener Branchen aus unterschiedlichen geografischen Gebieten. Obwohl die Ergebnisse noch nicht endgültig sind, lässt sich einiges schon mit Klarheit feststellen. So glaubt zum Beispiel die Mehrheit der Studienteilnehmer, dass Nachhaltigkeit an Bedeutung gewinnt und für das Geschäft immer wichtiger wird. 80 Prozent gaben an, Nachhaltigkeit sei ein wichtiger Faktor für die Kunden ihrer Kunden. Die Mehrheit der Befragten stimmte der Aussage zu, dass der Übergang zu effizienteren Systemen nötig ist. Als Anwendungsfälle mit den größten Erfolgsaussichten wurden unter anderem Produkt-Upgrades sowie Überwachungs- und Energiemanagementsysteme genannt.³

Die Studie hat auch gezeigt, dass zwischen Absicht und tatsächlichem Handeln eine gewisse Diskrepanz besteht. Das liegt zum einen an der Fokussierung auf den Return on Investment statt auf längerfristige Vorteile über den gesamten Lebenszyklus. Zum anderen ist es nicht immer einfach, die richtigen Entscheider zu finden, insbesondere wenn bei Entscheidungen sowohl die Nachhaltigkeit als auch Geschäftsziele berücksichtigt werden müssen. Einige der Befragten gaben auch an, Investitionen in Energieeffizienz würden oft intuitiv entschieden, anstatt auf der Grundlage harter Fakten. In der Praxis können die Energiedaten rotierender elektrischer Maschinen, wie beispielsweise Antriebsstränge, ohne digitale Vernetzung nicht kontinuierlich gesammelt werden. Die bisherigen Ergebnisse der Studie erlauben die Aussage, dass die befragten Unternehmen die Überwachung und Nachverfolgung der Energieeffizienz für ihren Betrieb für wichtig halten und die Modernisierung ihrer Anlagen als eine machbare Option betrachten.



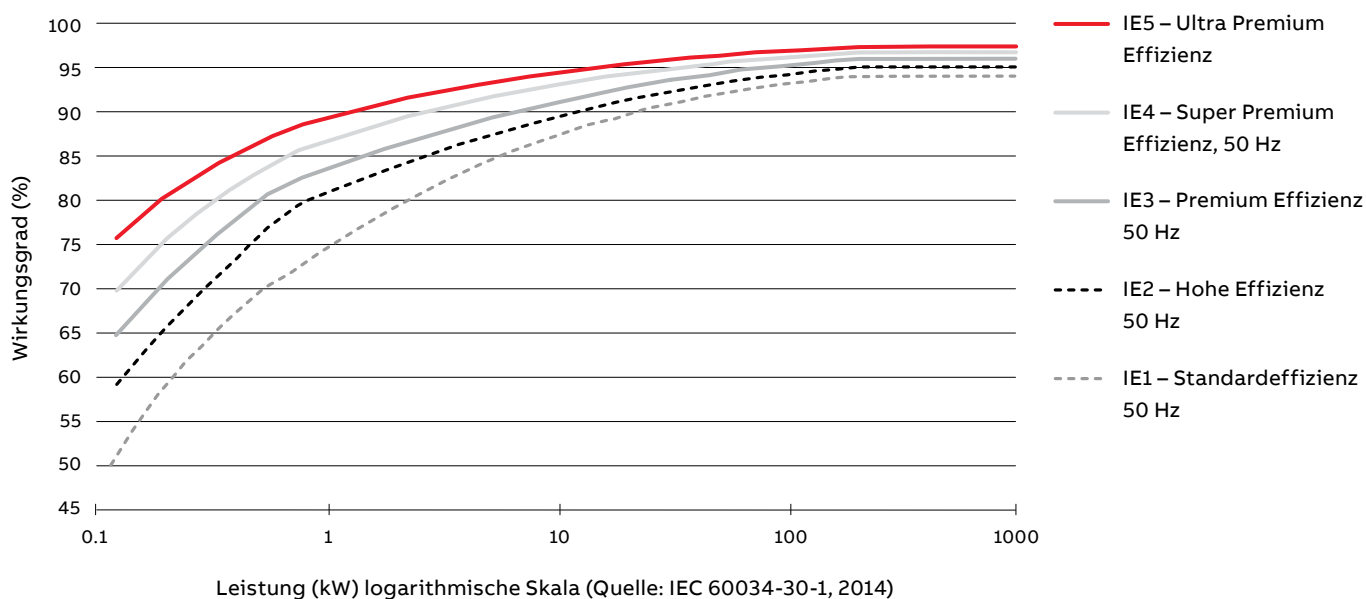
Lesen Sie den Zwischenbericht: Nachhaltiger Betrieb durch Energieeffizienz [hier](#).

Ein erster Schritt: Mehr Effizienz durch Modernisierung

Ältere Motoren sind eine typische Quelle für Ineffizienz in Industrieanwendungen. Durch die Modernisierung einiger ihrer Antriebssysteme könnten die meisten Unternehmen Energie und Kosten einsparen, und auf diese Weise sowohl ihre Nachhaltigkeits- als auch ihre Geschäftsziele erreichen. Durch ein Motor-Upgrade auf die nächste IE-Klasse, zum Beispiel von IE3 auf IE4, lassen sich Motorverluste im Allgemeinen um 20 Prozent reduzieren. Wird ein vorhandener Motor einer Pumpe, eines Lüfters oder eines Kompressors

dann noch mit einem Frequenzumrichter ausgestattet, lässt sich der Stromverbrauch um bis zu 25 Prozent senken.⁴ Wenn man bedenkt, dass in manchen Märkten mehr als 60 Prozent der Industriemotoren älter sind als zehn Jahre, wird klar, dass die Modernisierung der Anlagen viel Spielraum zur Verbesserung der Energieeffizienz bietet.⁵ In welchem Umfang die Energieeffizienz gesteigert werden kann, hängt natürlich von den beteiligten Prozessen und vom Alter der Anlagen ab – je älter eine Anlage, desto höher die potenziellen Energieeinsparungen.

Motoren: Wirkungsgrad und Alter



⁶ Ältere Motoren sind weniger energieeffizient als neuere Motoren.

Datenintelligenz für kontinuierliche Energieeffizienz

Auf der Grundlage von Daten bessere Entscheidungen treffen

In vielen Branchen modernisieren Unternehmen ihre vorhandenen Anlagen oder Komponenten am Ende der Lebensdauer regelmäßig mit optimierten Lösungen, die weniger Energie verbrauchen. Wie sich die Energieeffizienz kontinuierlich steigern lässt, kann jedoch nur anhand von Daten über den tatsächlichen Energieverbrauch und die Leistung der Anlagen entschieden werden. Sie benötigen Daten, wenn Sie wissen wollen, wie effizient Ihre Anlagen laufen, und Sie benötigen Daten, um bestimmen zu können, mit welchen Maßnahmen Sie die Effizienz tatsächlich verbessern können. Die rasante Entwicklung der digitalen Technologie macht das Sammeln der Daten aller Anlagen und Prozesse immer einfacher. Das Sammeln von Rohdaten allein genügt jedoch nicht. Sie müssen die relevanten Daten identifizieren und verarbeiten können, und Sie müssen über das notwendige Wissen verfügen, um diese Daten zu analysieren und die Ergebnisse zu interpretieren.

Kurz, Sie müssen wissen, wo Sie hinschauen müssen, und die richtigen Fragen stellen, um zweckmäßige Antworten zu bekommen, nach denen Sie handeln können. Erst dann können Sie wirksame Wege zur Verbesserung der Energieeffizienz finden.

Datenerfassung in der Praxis

Digitale Serviceleistungen werden über sichere IoT-Verbindungen bereitgestellt. Auf diese Weise können Kunden von

fortschrittlicher elektronischer Datenverarbeitung profitieren, ohne eigene Datenspeicher- oder Datenverarbeitungssysteme einrichten oder unterstützen zu müssen. Für die Erfassung der Daten vernetzter Geräte werden speziell entwickelte Lösungen wie das ABB Ability™ Condition Monitoring benötigt. Dabei verbindet sich eine Software mit dem Antriebsstrang. Dies tut sie entweder über Sensoren, mit denen Motoren, Generatoren, Lager und Pumpen ausgerüstet werden können, oder über fest integrierte Sensorfunktionen, wie bei Frequenzumrichtern von ABB.

Sobald die Software aktiviert ist, kann sie zum Messen und Nachverfolgen verschiedener Parameter genutzt werden, wie beispielsweise Nutzungsmuster, Kühlung, Beanspruchungsniveau und Stromverbrauch. Die erfassten Daten können dann verarbeitet, analysiert und auf einer eigens dafür vorgesehenen Plattform bereitgestellt werden.

Daten für den Blick auf das große Ganze nutzen

Datenerfassung wird zunehmend auf ganze Prozesse und Prozessbereiche angewandt, anstatt auf einzelne Anlagenteile. Es ist zum Beispiel möglich, den Zustand und den Wartungsbedarf nicht mehr nur der einzelnen Motoren und Frequenzumrichter, sondern des gesamten Antriebsstrangs zu bewerten. Bei diesem Ansatz werden die gleichen Daten der Motoren und Frequenzumrichter erfasst, wie bisher. Bewertet und analysiert werden diese Daten dann aber im Kontext des gesamten Systems.



ABB Ability™ Condition Monitoring für den Antriebsstrang ist ein System zur Erfassung der Daten von Frequenzumrichtern, Motoren, Pumpen und anderen elektrischen Komponenten. Es kombiniert Konnektivität und Datenanalyse, damit Leistung, Zuverlässigkeit und Effizienz aller Komponenten eines Antriebsstrangs sowie des Antriebsstrangs insgesamt auf der Grundlage wissensbasierter Bewertungen verbessert werden können.



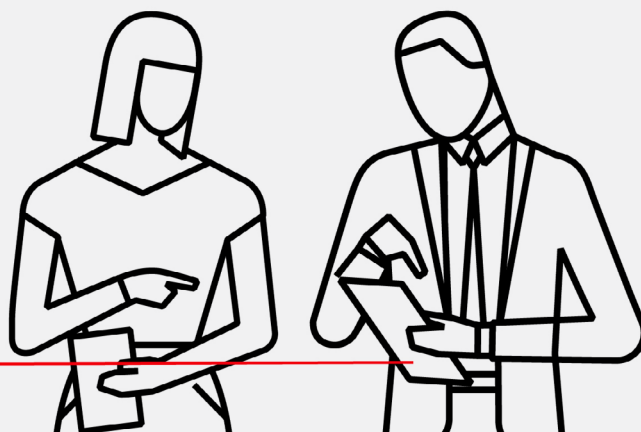
Daten richtig zu verstehen, erfordert Fachwissen

Aus den erfassten Daten lässt sich nur mit Fachwissen alles herausholen. Ein Unternehmen, das intern nicht über dieses Fachwissen verfügt, muss sich auf die Hilfe eines fachkundigen Dienstleisters verlassen können.

Wer die erfassten Daten richtig verstehen will, muss die involvierte Technologie – zum Beispiel von Motoren, Generatoren oder Frequenzumrichtern verschiedener Marken – verstehen. Er muss auch wissen, welche Art von Daten diese Technologie liefern kann, und wie sie verarbeitet, analysiert und ausgewertet werden können. Natürlich müssen Unternehmen und ihre Servicepartner auch ihre Prozesse und Geschäftsbereiche verstehen und das angestrebte Ziel im Blick behalten.

Wenn ein Servicepartner beispielsweise die Fernüberwachung des Anlagenzustands für eine Wasseraufbereitungsanlage anbietet, muss er sich mit Motoren, Frequenzumrichtern, Pumpen, Ventilen und dem Wasserreinigungsprozess auskennen. Er muss über die nötige Kompetenz in der Wartung verfügen und die erfassten Daten verarbeiten und analysieren können. Die Daten allein genügen nicht, um den einwandfreien Betrieb der Anlagenausrüstung sicherzustellen.

Servicepartner wie ABB verfügen über dieses Wissen, kennen die üblichen Probleme, auf die geachtet werden muss, und wissen, wo es im Allgemeinen Raum für Verbesserungen gibt.



Partnerschaften fördern

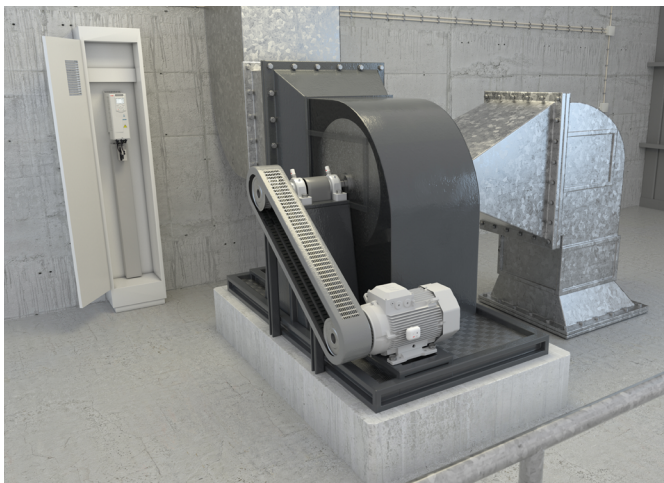
Digitale Lösungen erfordern den sicheren Datenaustausch zwischen Unternehmen und ihren Dienstleistern. Deshalb müssen die Beziehungen zwischen Dienstleistern, Kunden und anderen Unternehmen neu bewertet werden. Sie werden in Zukunft immer öfter die Form kollaborativer Partnerschaften haben, in deren Rahmen Anlagenhersteller und Servicepartner Risiken eliminieren und ein hohes Maß an Konnektivität nutzen, um Resultate zu liefern.

Daten und Expertise zur Leistungsoptimierung nutzen

Digitale Lösungen können für ganz unterschiedliche Serviceleistungen genutzt werden, beispielsweise für die zustandsabhängige Instandhaltung und die vorausschauende Wartung.

Kontinuierliche Überwachung und zustandsabhängige Instandhaltung

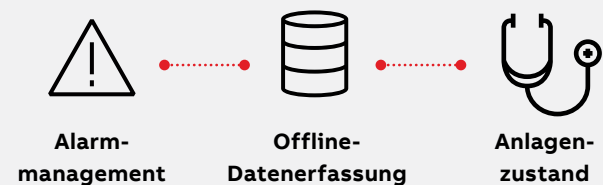
Im Rahmen der zustandsabhängigen Instandhaltung werden zur Zustandsüberwachung kontinuierlich Anlagen- und Prozessdaten erfasst. Diese Daten werden dann sicher an die Cloud übertragen, damit Anlagenhersteller und Servicepartner darauf zugreifen können, um sie zu verarbeiten und zu analysieren. Der kompetente Servicepartner beurteilt den Anlagenzustand, bestimmt den Wartungsbedarf und empfiehlt dem Kunden Wartungsmaßnahmen. Auf diese Weise lässt sich die Zuverlässigkeit und Leistung der Anlage verbessern, die Wartungsplanung optimieren und die Zahl der erforderlichen manuellen Inspektionen reduzieren, während unnötige Wartungsarbeiten vermieden werden. Da das System die Anlage kontinuierlich überwacht, kann es im Fall unerwarteter Abweichungen auch automatisch Warnungen und Alarme auslösen.



Vorausschauende Wartung

Bei der vorausschauenden Wartung werden Daten genutzt, um mögliche Probleme schon vor ihrem Auftreten zu identifizieren, und so Prozessstabilität und maximale Verfügbarkeit der Anlagen sicherzustellen. Im Rahmen der vorausschauenden Wartung analysieren Serviceexperten aggregierte Echtzeit- und Langzeitdaten. Sie führen Anlagendaten (z. B. die Betriebsstunden) und Prozessdaten (z. B. Parametereinstellungen) zusammen und gleichen sie mit historischen Daten und Trends ab, um den kommenden Wartungsbedarf zu bestimmen. Anhand dieses längerfristigen Überblicks lassen sich die optimalen Wartungsintervalle festlegen, Leistungsabweichungen erkennen und Probleme vermeiden. Außerdem können Engpässe und Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert werden.

Digitale Services wie das ABB Ability™ Condition Monitoring unterstützen Unternehmen bei der Zustandsüberwachung ihrer Antriebsstrangkomponenten.



ANWENDUNGSBEISPIEL



Digitale Zustandsüberwachungs- lösungen sorgen im Zementwerk Mokrá für mehr Energieeffizienz

Das Zementwerk im tschechischen Mokrá hatte Schwierigkeiten, die Ursache für wiederholte ungeplante Stillstände zu ermitteln und wandte sich mit der Bitte um Hilfe an ABB. ABB Motion Services hat daraufhin zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung und Datenerfassung den digitalen Service ABB Ability™ Condition Monitoring für Frequenzumrichter installiert. Anhand der so gewonnenen Erkenntnisse konnten die Experten von ABB die Fehlerquelle ausfindig machen und gezielt Verbesserungsbereiche empfehlen. Das Zementwerk konnte damit von einer zeitplanbasierten Wartung auf gezielte Wartungsmaßnahmen an der richtigen Anlage zum richtigen Zeitpunkt umstellen. Durch den Einsatz vorausschauender Wartungslösungen ist es gelungen, potenzielle Fehlerquellen frühzeitig zu identifizieren und ungeplante Stillstände zu vermeiden. So konnte Mokrá innerhalb von nur drei Monaten Kosteneinsparungen in Höhe von mehr als 210.000 US-Dollar erzielen und die Leistung und Effizienz seiner Rauchventilatoren verbessern, ohne dabei nicht vorgesehene Investitionen tätigen zu müssen.

ANWENDUNGSBEISPIEL



Source: Denka

Denka verlängert Motorlebensdauer und senkt Instandhaltungskosten

ABB lieferte dem japanischen Chemiekonzern Denka Zustandsüberwachungslösungen für sein Werk in Singapur. Das Werk ist eine der weltweit größten Produktionsanlagen für Styrolharz. Hier kommen Hunderte Motoren zum Einsatz, die Pumpen, Kompressoren, Lüfter und Pelletierer antreiben. Im Rahmen des Servicevertrags ist ABB dafür verantwortlich, das Risiko von Anlagenausfällen zu steuern. Dies beinhaltet auch die Durchführung oder Empfehlung von präventiven Wartungsmaßnahmen und Reparaturen auf Basis einer Kenngröße für die Zuverlässigkeit und eines Dringlichkeitsgrades. ABB überwacht beispielsweise kontinuierlich die Betriebs- und Zustandsparameter prozesskritischer Elektromotoren, Pumpen und Lager. Anhand der so gewonnenen Erkenntnisse gelang es ABB schnell, Abweichungen in mehreren Prozessen zu identifizieren, so dass Korrekturmaßnahmen rechtzeitig ergriffen und Ausfälle vermieden werden konnten. In den letzten zwei Jahren konnten die Motorenausfälle mithilfe des Condition Monitoring um 80 Prozent reduziert werden.⁷

—
Mit ABB Condition Monitoring konnte Denka die Motorenausfälle innerhalb von zwei Jahren um 80 Prozent reduzieren.⁷

Daten und Expertise

zur kontinuierlichen Optimierung der Energieeffizienz nutzen

Bei den meisten digitalen Lösungen steht derzeit die Sicherstellung der Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit von Prozessen und Anlagen im Mittelpunkt. Sie können jedoch ebenso gut zur kontinuierlichen Optimierung der Energieeffizienz eingesetzt werden. Serviceleistungen für Energieeffizienz werden, wie Serviceleistungen der zustandsabhängigen Instandhaltung auch, aus der Ferne erbracht.

Schon die Verbesserung der Anlagenzuverlässigkeit und -leistung allein kann die Energieeffizienz messbar steigern. Ein Kunde in Australien konnte nach eigenen Angaben mithilfe des ABB Condition Monitoring für den Antriebsstrang anhand von Energieverbrauchsmustern bessere Lastprofile erstellen, seinen Bestand an Motoren und Antrieben rationalisieren und auf diese Weise seine Energieeffizienz nachweislich um rund 10 Prozent verbessern.⁸

Bei Serviceleistungen für Energieeffizienz werden kontinuierlich Daten zum Energieverbrauch vernetzter Motoren, Frequenzumrichter und anderer elektrischer Komponenten erfasst. Diese Daten können sich Serviceexperten dann genauer ansehen, um kritische Verbesserungsbereiche zu ermitteln und potenzielle Energieeinsparungen zu berechnen. Auf der Grundlage dieser Informationen können sie Empfehlungen zu den verschiedenen verfügbaren Optionen und zu den Maßnahmen geben, mit denen sich die Energieeffizienz am wirksamsten verbessern lässt, wie beispielsweise die Ausstattung von Motoren und Antrieben mit Frequenzumrichtern. Wenn Änderungen vorgenommen wurden, können die Serviceexperten mithilfe der kontinuierlichen Zustandsüberwachung die Effizienzgewinne nachverfolgen und überprüfen, um sicherzustellen, dass alle Antriebssysteme langfristig so effizient arbeiten, wie möglich.

Mit ergebnisbasierten Geschäftsmodellen können sich Unternehmen statt auf die Beseitigung von Hindernissen auf die Erfüllung ihrer Ziele fokussieren.

Neue Servicemodelle für garantierte Ergebnisse

Digitale Lösungen können auch zur Verbesserung der Transparenz eingesetzt und genutzt werden, um nicht mehr nur einzelne Probleme zu beheben, sondern weiter gefasste Ziele zu verwirklichen. So bieten führende Unternehmen wie ABB ergebnisorientierte Geschäftsmodelle an, die Big Data mit kontinuierlicher (Fern-)Überwachung und Expertise kombinieren.

Bei herkömmlichen Serviceleistungen stellen Anlagenhersteller und Servicepartner das Handeln nach Bedarf und die Lösungsfindung in den Mittelpunkt. Bei ergebnisorientierten Geschäftsmodellen dagegen liegt der Fokus auf der Risikovermeidung, für die hier der Servicepartner verantwortlich ist. Kunde und Servicepartner legen gemeinsam Ergebnisanforderungen fest und arbeiten zusammen an deren Erfüllung. Der Kunde kann seinen Dienstleister zum Beispiel dafür bezahlen, dass er ein garantiertes Niveau der Produktionsverfügbarkeit oder kontinuierliche Energieeffizienz sicherstellt. In diesem Fall ist der Dienstleister verantwortlich für die Fernüberwachung der Anlagen des Kunden und ergreift proaktive Wartungsmaßnahmen, um das vereinbarte Ergebnis sicherzustellen. Ganz ähnlich wird ein Kunde seinen Dienstleister in Zukunft vielleicht für die Verbesserung der Energieeffizienz und die Optimierung des Energieverbrauchs bezahlen.

Da für ergebnisorientierte Serviceleistungen ein Fernzugriff nötig ist, ist die digitale Vernetzung von entscheidender Bedeutung. Sie bietet die Infrastruktur, die für eine kontinuierliche Lieferung der gewünschten Ergebnisse nötig ist. Dies bedeutet auch, dass Kunden Vorbehalte überwinden und ihre Daten bereitwilliger mit ihren Servicepartnern teilen müssen. Da sich die Servicepartner am besten mit den Anlagen auskennen, macht es Sinn, ihnen die Verantwortung für die Leistungsoptimierung während der gesamten Anlagenlebensdauer zu übertragen.

ANWENDUNGSBEISPIEL



In der schwedischen Papierfabrik SCA Munksund werden jährlich 400.000 Tonnen Verpackungsmaterial hergestellt. Bei der Papierherstellung wird sehr viel Energie verbraucht, vornehmlich durch die mehr als 2400 installierten Elektromotoren. Gemeinsam mit ABB installierte SCA Munksund digitale Lösungen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Senkung der Emissionen, darunter die Zustandsüberwachung der Anlagen. Die dabei erfassten Daten werden von Experten analysiert, so dass Indikatoren wie Nutzungsmuster, Stromverbrauch und langfristige Leistungstrends nun in Echtzeit nachverfolgt werden können. Am Ende wird die Papierfabrik in der Lage sein, Energie und Kosten zu sparen und ihren Betrieb so energieeffizient wie möglich zu gestalten.

ANWENDUNGSBEISPIEL

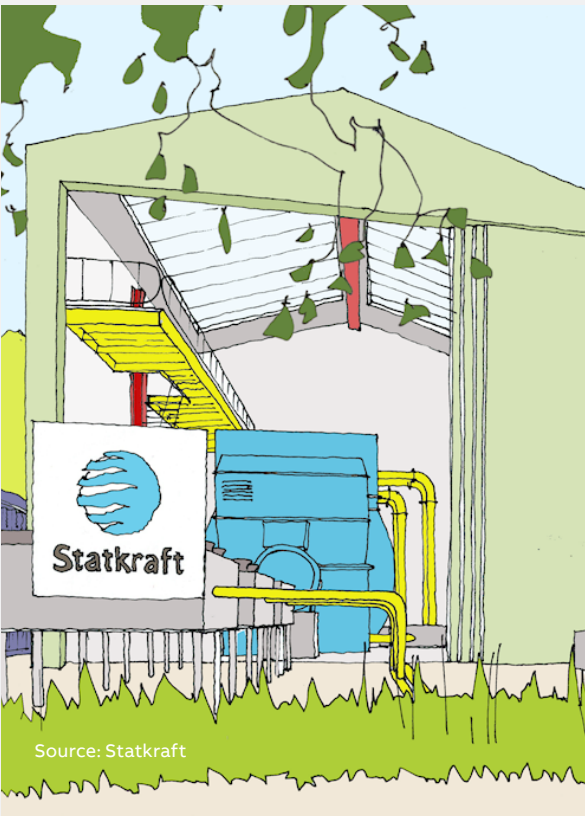


ABB hat einen 10-Jahres-Servicevertrag mit Statkraft, dem größten europäischen Erzeuger erneuerbarer Energien abgeschlossen. Der Vertrag umfasst die schlüsselfertige Lieferung von zwei Phasenschiebersystemen mit hohem Trägheitsmoment für das Projekt „Lister Drive Greener Grid“ in Großbritannien.

ABB wird in diesem Rahmen die Rund-um-die-Uhr-Verfügbarkeit des Systems sicherstellen. Statkraft erwirbt mit diesem ergebnisorientierten Service einen garantierten Verfügbarkeitsgrad inklusive Wartung durch ABB. Der Lieferumfang von ABB umfasst auch die kontinuierliche Überwachung der Anlage und die Durchführung notwendiger Wartungsmaßnahmen, noch bevor Störungen auftreten.

Zusammenfassung

Der weltweite Energieverbrauch wird sich den Erwartungen zufolge bis 2050 fast verdoppeln.⁹ In der Folge werden globale und lokale Vorschriften immer strenger, um Unternehmen anzutreiben, ihre Betriebe energieeffizienter zu machen.

Wie in diesem White Paper dargelegt, sind digitale Lösungen und Services, die kontinuierliche Energieeffizienz möglich machen, bereits verfügbar. Eine solche Lösung ist beispielsweise die kontinuierliche Überwachung von Anlagen und Prozessen. Die dabei gesammelten Daten können genutzt werden, um den möglichst effizienten Betrieb sicherzustellen, Entscheidungsprozesse zu unterstützen und mögliche Verbesserungsbereiche zu identifizieren. Die kontinuierliche Überwachung ist auch bei fortschrittlichen digitalen Services ein entscheidendes Element, bei denen die Lieferung von Ergebnissen auf der

Basis von Leistungsindikatoren im Mittelpunkt steht. Mit ergebnisorientierten Geschäftsmodellen können Unternehmen ihren Betrieb optimieren und weiterentwickeln, auf langfristige Ziele hinarbeiten und Risiken vermeiden, anstatt einfach nur den Status quo zu erhalten.

ABB ist führend bei digitalen Energieeffizienz-Lösungen für Motoren, Generatoren und Frequenzumrichter. Wir bieten digitale Services für fast alle Branchen an, damit Unternehmen diese starken neuen Technologien nutzen können, um ihre Betriebe schrittweise zu digitalisieren. Digitale, ergebnisorientierte Geschäftsmodelle werden in Zukunft wohl Normalität sein, und wir bei ABB verfügen über die notwendige Kompetenz und Technologie, um diesen Übergang zu einer digitalen und energieeffizienten Zukunft noch einfacher zu machen, als je zuvor.

(1) Fong, J.; F. Ferreira; A.M. Silva; and A.T. De Almeida, "IEC61800-9 System Standards as a Tool to Boost the Efficiency of Electric Motor Driven Systems Worldwide," *Inventions*, 2020, 5, 20, <https://www.mdpi.com/2411-5134/5/2/20/html>

(2) Waide, P. and C.U. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems," Arbeitspapier der internationalen Energieagentur, Paris 2011, Seite 13, 17, 118.

(3) ABB Smart Lab und Universität St. Gallen, „Sustainable operations through energy efficiency“, Zwischenbericht, 2021

(4) Ein Beispiel für die betreffenden Kalkulationen findet sich in „Program Insights: Variable frequency drives“, Consortium for Energy Efficiency, 2019, <https://www.cee1.org/content/variable-frequency-drives>.

(5) Lawrence Berkeley National Laboratory, U.S. industrial and commercial motor system market assessment report, Volume 1: characteristics of the installed base, January 2021, Seite 67, Permalink: <https://escholarship.org/uc/item/42f631k3>

(6) Electric Motor Systems: targeting and implementing efficiency improvements, Maarten van Werkhoven, Low Carbon Economy Webinar, European Copper Institute, 8. Oktober 2015, Folie 29, <https://www.slideshare.net/sustenergy/electric-motor-systems-targeting-and-implementing-efficiency-improvements>

(7) Basierend auf Kundenerfahrung und Messungen von ABB

(8) Basierend auf ABB Kundenerfahrung

(9) U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2019 (IEO2019), Seite 24, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>



Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrer
ABB-Vertretung oder im Internet:

**[new.abb.com/service/de/antriebstechnik/
digitalisierung-und-innovation](https://new.abb.com/service/de/antriebstechnik/digitalisierung-und-innovation)**