

review

ABB

EINE DER AM LÄNGSTEN
ERSCHEINENDEN
FACHZEITSCHRIFTEN DER WELT

03|2024 de

Blickpunkt Effizienz



164–185 **ABB Dynafin™**

186–197 **Elektrifizierung im Bergbau**

198–217 **Optimale Betriebsabläufe**





Antriebsrevolution



Materialtransport unter Strom

Farben nach Maß



-
- 161 **Editorial**
 - 162 **Sichern Sie Ihr Abonnement!**
Die ABB Review möchte Sie als
Leser/in behalten

ABB Dynafin™

- 164 **Antriebsevolution**
Der revolutionäre ABB Dynafin™-
Schiffsantrieb
- 168 **Dynamische Erkenntnisse**
Kavitationsanalyse der ABB
Dynafin™-Trochoidalpropeller
- 174 **Koordinierte Bewegung**
Präzise Steuerung der ABB
Dynafin™-Trochoidalpropeller
- 180 **Stärke durch Zusammenarbeit**
Kooperation mit dem VTT im
Rahmen des ABB Dynafin™-
Projekts
- 182 **Teamleistung**
Die Vision und das Engagement
hinter ABB Dynafin™

Elektrifizierung im Bergbau

- 186 **Materialtransport unter Strom**
Technologien zur Dekarbonisie-
rung des Bergbaus im Vergleich
- 193 **Grünere Netze**
Komplexität meistern mit auto-
matisierter Netzplanung und
-analyse

Optimale Betriebs- abläufe

- 198 **Farben nach Maß**
Leistungsstarke Online-
Farbmessung für Papier
- 202 **Kontaktlos, schnell und präzise**
Leistungsstarke Online-Messung
der Papierfeuchte
- 208 **Intelligente Ableitung**
Nichtinvasive Vorhersage der
Schmelztemperatur in Echtzeit
- 214 **Detaillierte Einblicke**
Hilfe auf dem Weg zur
Klimaneutralität

Buzzwords entschlüsselt

- 218 **Kavitation**
-
- 219 **Abonnement**
 - 219 **Impressum**

Artikel teilen

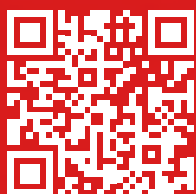
Sie denken, ein Artikel könnte für eine Kollegin oder einen Freund interessant sein? Ab der Ausgabe 03/2023 finden Sie für gewöhnlich auf der letzten Seite jedes Artikels einen individuellen QR-Code, der ein einfaches Teilen von Inhalten ermöglicht.

Diese Ausgabe der
ABB Review teilen



Dringende Information für Abonnenten

Leider müssen wir die bisherigen Verteilerlisten für die Druckausgabe der ABB Review und die E-Mail-Benachrichtigung einstellen. Bitte nutzen Sie den unten stehenden QR-Code, um sich erneut zu registrieren. Wir bitten die damit verbundenen Unannehmlichkeiten zu entschuldigen und freuen uns, wenn Sie der ABB Review weiterhin treu bleiben.



EDITORIAL

Blickpunkt Effizienz



Liebe Leserin, lieber Leser,

ich freue mich, Ihnen die erste Ausgabe der ABB Review in meiner Amtszeit als CEO präsentieren zu dürfen.

Die Menschheit steht vor nie dagewesenen Herausforderungen, die die Lebensfreundlichkeit unseres Planeten bedrohen. Zum Glück können viele dieser Herausforderungen mithilfe von Technologie bewältigt werden – sei es durch die Integration fossilsfreier Energie, durch Energieeffizienz, durch Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung oder durch eine höhere Produktivität dank KI-gestützter Erkenntnisse und Entscheidungen.

Seit 110 Jahren berichtet die ABB Review aus erster Hand über Neues aus Forschung und Entwicklung. In dieser Ausgabe präsentieren wir Dynafin™, einen neuen Schiffsantrieb, der Energieeinsparungen von bis zu 22 Prozent ermöglicht. Außerdem berichten wir über die Elektrifizierung im Bergbau und fortschrittliche Sensoren für die Papierherstellung.

Entdecken Sie diese und weitere Innovationen in dieser Ausgabe der ABB Review.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre!

Morten Wierod
Chief Executive Officer, ABB Group

Diesen Artikel teilen



DIE NEUE ABB REVIEW

Ab Ausgabe 01/2025 erscheint die ABB Review in einem überarbeiteten Format. Zu den Neuerungen gehören:

- Ein neu gestalteter und erweiterter Webauftritt mit zusätzlichem Material wie Videoclips und Kurzartikeln
- Mehr Fallbeispiele und Interviews
- Zwei Druckausgaben im Jahr (anstatt vier)
- Reine Online-Artikel, die zwischen den Druckausgaben erscheinen
- Weitere Einzelheiten erfahren Sie in Ausgabe 04/2024 der ABB Review.

01

ÜBER ABB REVIEW

Die ABB Review erscheint seit 1914 und gehört damit zu den am längsten publizierten Fachzeitschriften der Welt. Die Zeitschrift legt großen Wert auf Richtigkeit und Objektivität und versteht sich als Sprachrohr „von Ingenieur zu Ingenieur“. Die ABB Review wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind.

UNSER ZIEL

Das Ziel der ABB Review ist es, Kunden auf objektive, permanente, vertrauenswürdige und präzise Weise über innovative Lösungen und Errungenschaften sowie neueste Ergebnisse aus der Forschung und Entwicklung von ABB, in die das Unternehmen jährlich über 1 Mrd. USD investiert, zu informieren.

02

Titelbild: ©Noah Clayton via Getty Images



DIE ABB REVIEW MÖCHTE SIE ALS LESER/IN BEHALTEN

Sichern Sie sich Ihr Abonnement!

Wenn Sie jetzt nicht handeln, könnte dies Ihre letzte Ausgabe der ABB Review sein. Ganz gleich, ob Sie die Druckausgabe oder die digitale Version lesen, Sie müssen sich neu registrieren, wenn Sie Ihr Abonnement fortsetzen möchten.



Andreas Moglestue
ABB Review
Zürich, Schweiz

andreas.moglestue@
ch.abb.com

Ab der Ausgabe 01/2025 wird die ABB Review in einem neuen Format erscheinen →01. Im Rahmen dieser Umstellung überprüfen wir auch unser Verteilungssystem. Unsere derzeitigen Verteilerlisten sind im Laufe der Zeit organisch gewachsen und leider nicht immer konsistent, was Fragen des Datenschutzes und der Einwilligung angeht. Daher bitten wir alle Abonentinnen und Abonnenten (ganz gleich, ob Sie die Druckausgabe oder die E-Mail-Benachrichtigung erhalten), sich neu zu registrieren.

Dies geht am einfachsten, indem Sie den unten stehenden QR-Code scannen und den Anweisungen folgen. Alternativ können Sie auch unsere Webseite unter abb.com/abbreview besuchen und dort „Subscribe“ wählen.

In Zukunft wird es nur eine Abonnentenliste geben, bei der Sie wählen können, ob Sie die Druckausgabe, die E-Mail-Benachrichtigung oder beides erhalten möchten.

Wenn Sie sich nicht neu registrieren, müssen wir leider davon ausgehen, dass Sie Ihr Abonnement nicht fortsetzen möchten. In diesem Fall wird Ihr Abonnement Ende 2024 automatisch beendet.

Wir bitten Sie, die mit der Umstellung verbundenen Unannehmlichkeiten zu entschuldigen, und freuen uns, wenn Sie der ABB Review weiter treu bleiben →02.

Andreas Moglestue
Chefredakteur



Sichern Sie sich Ihr
Abonnement!



Das ABB Dynafin-Konzept wurde von den kraftvollen Bewegungen eines Walschwanzes inspiriert.



Schiffe verursachen

2% der weltweiten CO₂-Emissionen.

ABB Dynafin™ ist eine Alternative zum Schraubenpropeller.



ABB Dynafin zeichnet sich durch eine höhere Effizienz, geringere Geräuschentwicklung und weniger Turbulenzen aus.

DER REVOLUTIONÄRE ABB DYNAFIN™-SCHIFFSANTRIEB

Antriebs- evolution

Das neue zyklonale Antriebskonzept ABB Dynafin™ ermöglicht eine signifikante Steigerung der Effizienz von Schiffen und verspricht eine erhebliche Senkung der Emissionen in der Schifffahrt.

Der größte Teil des weltweiten Handels wird auf dem Seeweg abgewickelt. Doch obwohl die Schifffahrt das kostengünstigste Mittel zum Transport dieser Waren darstellt, haben Schiffe den Nachteil, dass sie normalerweise mit schweren Kraftstoffen betrieben werden, bei deren Verbrennung Treibhausgase (THGs) wie Kohlendioxid (CO₂) entstehen. Insgesamt ist die Schifffahrt für rund 2 Prozent der weltweiten, vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen verantwortlich [1]. Wäre die Schifffahrt ein Land, wäre sie der sechstgrößte Emittent von THGs weltweit [2].



Um dem entgegenzuwirken, hat die Internationale Seeschiffahrts-Organisation IMO das Ziel ausgerufen, die von der internationalen Schifffahrt verursachten Emissionen bis zum Jahr 2050 auf netto null zu senken. Alternative Energiequellen und fortschrittliche Antriebstechnologien gelten als maßgebliche Elemente zum Erreichen dieses Ziels.

Im Mai 2023 präsentierte ABB eine bahnbrechende Lösung, die das Zeug dazu hat, die Schifffahrt zu revolutionieren – ABB Dynafin, ein Zykloidalpropeller-Antrieb, der die dringende Forderung nach mehr Effizienz und weniger Emissionen erfüllt.

ABB Dynafin

Der innovative Dynafin-Antrieb erzeugt Schub mithilfe von Schaufeln, die unten aus dem Schiffsrumpf ragen →01. Die Schaufeln rotieren sowohl um ihre eigene Achse als auch um die Achse eines Hauptrads, auf dem sie montiert sind. Auf diese Weise erreicht ABB Dynafin – gesteuert von einem ausgeklügelten Steuerungssystem (siehe Artikel „Koordinierte Bewegung“ auf Seite 174 dieser Ausgabe) – eine sehr hohe hydrodynamische Effizienz und kann die Schubrichtung nahezu augenblicklich ändern. Das Ergebnis ist eine deutlich bessere Manövrierfähigkeit als bei herkömmlichen Systemen, in denen ein Propeller zur Änderung der Schubrichtung um seine vertikale Achse gedreht wird.

Das ABB Dynafin-Konzept ist im Wesentlichen ein Zykloidalpropeller mit einzeln gesteuerten Schaufeln, die eine trochoidale Bewegung ähnlich

der eines Walschwanzes ausführen. (Ein Trochoid ist die Bahn, die ein Punkt auf dem Umfang eines Kreises beschreibt, wenn sich dieser auf einer geraden Linie abrollt.) Trochoidalpropeller sind im Prinzip nicht neu, doch technologische Einschränkungen haben eine Kommerzialisierung und Markteinführung bislang verhindert.

Die Drehbewegung des Hauptrads wird durch einen Elektromotor erzeugt, der das Rad direkt antreibt. Das Hauptrad dreht sich mit einer relativ geringen Drehzahl von 40 bis 80 U/min und ist mit vier bis sechs identischen Schaufeln bestückt →01. Die Drehrichtung ist in allen Betriebssituationen gleich. Schubkraft und -richtung werden durch die Drehzahl des Hauptrads und die Schaufelstellung bestimmt. Zunächst konzentriert sich ABB auf die Entwicklung von ABB Dynafin-Einheiten im Leistungsbereich von 1 bis 4 MW pro Antrieb →02.

Modelle und Modellierung

Ein wichtiger Bestandteil der Entwicklung von ABB Dynafin waren numerische Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics, CFD) zur Beurteilung der hydrodynamischen Leistung sowie Freifahrtversuche mit maßstäblichen Modellen →03a–b. Ein Großteil der detaillierten Arbeiten wurde in Zusammenarbeit mit dem Technischen Forschungszentrum Finnland VTT in Espoo durchgeführt (siehe Artikel „Dynamische Erkenntnisse“ auf Seite 168 dieser Ausgabe).

Der nächste Schritt zur Prüfung der hydrodynamischen Leistung bestand darin, ABB Dynafin Bedingungen auszusetzen, die der Realität näher kommen. Dazu wurde der Rumpf eines Platt-

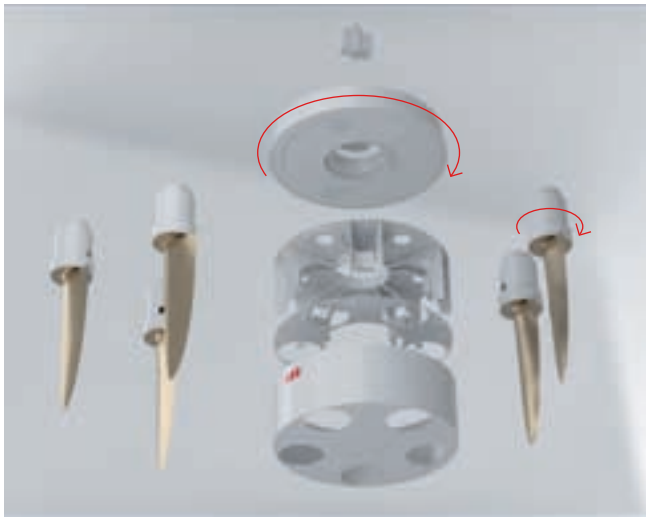
—
Die Schaufeln sind um ihre eigene Achse und um die Achse des Hauptrads drehbar.

form-Versorgungsschiffs mit Antriebseinheiten nachgerüstet, um einen Vergleich zu vorhandenen Azipod®-Einheiten im selben Leistungsbereich zu ermöglichen.

Nach den erfolgreichen Simulationen, Modellversuchen und Tests am Schiffsrumpf führte ABB produktive Gespräche mit mehreren Schiffskonstruktionsbüros, Werften, Schiffseignern und -betreibern, um die Machbarkeit des Konzepts zu bestätigen.

Jani Hakala
Janne Pohjalainen
Veli-Pekka Peljo
ABB Marine and Ports
Helsinki, Finland

jani.hakala@fi.abb.com
janne.pohjalainen@fi.abb.com
veli-pekka.peljo@fi.abb.com



01



02

— 01 Jede Schaufel ist drehbar, genauso wie das Haupttrad, auf dem die Schaufeln montiert sind.

— 02 Schiffe können mit zwei (wie hier gezeigt) oder vier Antriebseinheiten ausgerüstet werden, was eine installierte Leistung von bis zu 16 MW ermöglicht.

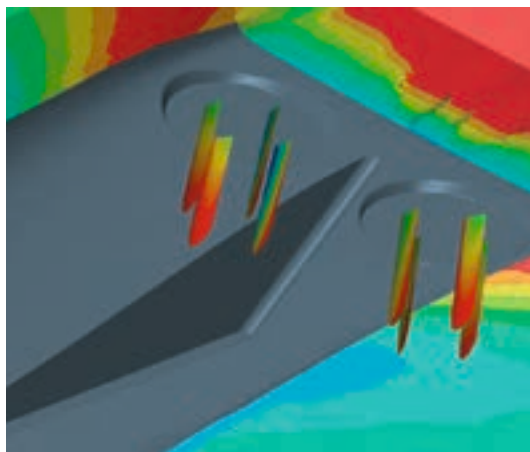
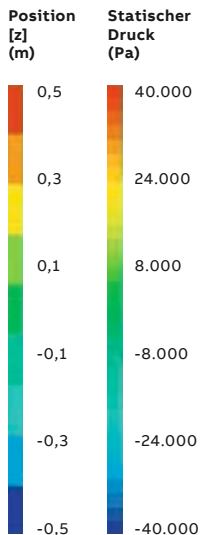
Schlüsselfaktoren für die Effizienz

Die hohe Effizienz des ABB Dynafin-Antriebs ist auf verschiedene Schlüsselfaktoren zurückzuführen. Dazu gehört zum einen die größere Antriebsfläche, was die Belastung des Propellers reduziert und zu einem äußerst niedrigen Schubbelastungsgrad führt. Je niedriger dieser Koeffizient, desto höher ist der ideale Freifahrtwirkungsgrad eines Antriebs. Darüber hinaus eignet sich ABB Dynafin dank seiner Geometrie ideal für flache Gewässer, da der Antrieb nicht so weit aus dem Schiffsrumpf herausragt wie ein vergleichbarer Schraubenspropeller. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Schiff, bei dem das Ruder und die Wellenböcke einen Strömungswiderstand verursachen, ragen bei einem Zyklodialantrieb nur die Schaufeln aus dem Rumpf, was die hydrodynamische Leistung verbessert.

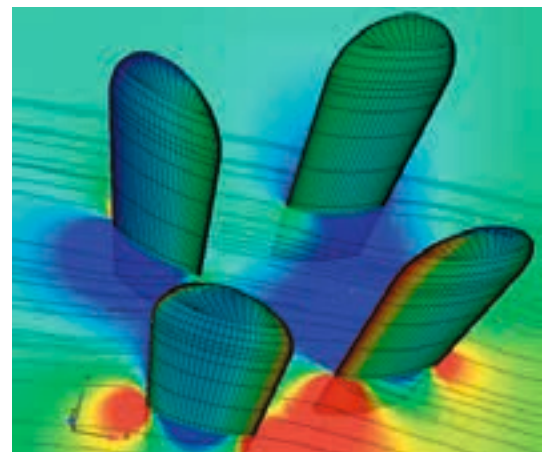
Ein weiterer Faktor, der zur Verbesserung der Effizienz beiträgt, sind die einzeln gesteuerten Schaufeln. Jede Schaufel wird durch einen Elektromotor, einen Frequenzumrichter (zur

Regelung von Drehmoment und Drehzahl) und eine Steuerlogik gesteuert. Dadurch lässt sich die hocheffiziente Bewegung eines Walschwanzes imitieren und die Schaufelbewegung (Exzentrizität, Fortschrittsgrad und Anstellwinkel) an verschiedene Situationen des Schiffsbetriebs anpassen. So können sowohl während der Fahrt als auch bei der dynamischen Positionierung eine maximale Effizienz und ein maximaler Schub erreicht werden →04.

ABB Dynafin bietet einen entscheidenden Vorteil gegenüber Festpropellern, die für einen einzigen Betriebspunkt optimiert sind: Beim ABB-System kann die Bewegung der Schaufeln kontinuierlich angepasst werden, um eine optimale Leistung über einen breiten Drehzahlbereich und verschiedene Nachstromfelder hinweg zu gewährleisten. Die Steuerungs- und Softwaretechnologie des Systems ermöglicht eine kontinuierliche Optimierung der Schiffsleistung über dessen Lebensdauer hinweg und unterstützt so das Konzept eines „digitalen Propellers“. ABB Dynafin



03a



03b

—
03 CFD-Simulationen boten die schnellste und kostengünstigste Möglichkeit zur Untersuchung hydrodynamischer Phänomene und Verbesserung des Konzepts.

03a Simulation eines Antriebssystems mit zwei Antriebseinheiten (Twin-Set). Die Position z beschreibt die Wellenhöhe um das Schiff, wobei blaue Werte für ruhiges Wasser stehen. Die Legende zum statischen Druck bezieht sich auf die Schaufeln.

03b Fluidströmung um einzelne Schaufeln.

—
04 Versuchsfahrten auf einem See zur Demonstration der Manövrierfähigkeit eines Schiffs mit ABB Dynafin-Antriebseinheiten.



04

kann auch im sogenannten Rudermodus betrieben werden, in dem alle Schaufeln so gesteuert werden, dass sie wie herkömmliche Steuerruder wirken. Diese Funktion bietet nicht nur Vorteile für Doppelendschiffe und Schiffe mit Segelunterstützung, sondern erhöht auch die Redundanz bei Ausfällen, indem sie einen Teil der Steuerungsfähigkeit bereitstellt.

Zusätzlich zum direkten elektrischen Antriebsstrang für das Haupttrrad und die Schaufelmodule kann ein mechanisches Kegelradgetriebe verwendet werden, um eine Verbindung zur Hauptmaschine zu schaffen und die Vorteile auf Schiffssegmente auszudehnen, in denen elektrische Antriebsstränge normalerweise nicht zum Einsatz kommen.

Die hohe Leistungsfähigkeit von ABB Dynafin erlaubt den Einsatz kleinerer Generatoren (und Kraftstofftanks), was weitere Effizienzsteigerungen ermöglicht. Dies reduziert den Kapitalaufwand und die Wartungskosten, ermöglicht ein flexibleres Schiffslayout und schafft mehr Platz für Fracht und Passagiere. Dieser Aspekt der Leistungsreduktion ist besonders für hybride oder batteriebetriebene Schiffe von Vorteil, da kleinere und somit kostengünstigere Batterien verbaut werden können.

Geringere Geräuschmissionen

Aufgrund der möglichen Auswirkungen von Unterwasserlärm auf aquatische Ökosysteme sind Begrenzungen der Geräuschmissionen in naher Zukunft zu erwarten. Da die Elektromotoren beim ABB Dynafin-Antrieb innerhalb des Rumpfs untergebracht sind, werden elektromagnetische Störungen minimiert. Die Reduktion von Kavitation und Turbulenzen führt zudem zu einer geringeren hydrodynamischen Geräuschentwicklung. Darüber hinaus ermöglicht die individuelle Steuerung der einzelnen Schaufeln optimierte Trajektorien zur Minimierung hydrodynamischer Geräusche in verschiedenen Betriebsituationen.

Hohe Zuverlässigkeit und einfache Wartung

Der modulare Aufbau und der hohe Standardisierungsgrad von ABB Dynafin vereinfachen das Ersatzteilmanagement. Durch die Kombination von Antrieb und Steuerung und den direkten elektrischen Antriebsstrang werden weniger Komponenten benötigt.

Der Verzicht auf verschleißempfindliche Getriebe und die geringe Drehzahl des Haupttrads von 40 bis 80 U/min minimieren den Komponentenverschleiß. Und wenn Komponenten inspiziert oder ausgetauscht werden müssen, ist das Haupttrrad bequem vom Schiffsinernen aus zugänglich.

Eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten

ABB Dynafin ermöglicht eine Senkung des Kraftstoffverbrauchs von bis zu 22 Prozent im Vergleich zu einem herkömmlichen Wellenantrieb und einen Antriebswirkungsgrad von bis zu 85 Prozent. Das bedeutet, es wird weniger Platz für den Generator und die Kraftstofftanks auf dem Schiff benötigt. Neben der hohen Effizienz zeichnet sich ABB Dynafin durch eine einfache Wartung und hervorragende Manövrierfähigkeit aus.

Mit ihrem breiten Know-how in den Bereichen Hydrodynamik, mechanische Systeme, Schiffselektrifizierung, Automatisierung und Steuerung verfügt ABB über die idealen Voraussetzungen zur weiteren Verbesserung des innovativen Dynafin-Systems. Das Antriebssystem setzt neue Maßstäbe in puncto Anpassungsfähigkeit und Intelligenz für Schiffsantriebe und definiert die Vorstellung von effizienten Antriebssystemen in der Schifffahrt neu. •

—
Literaturhinweise

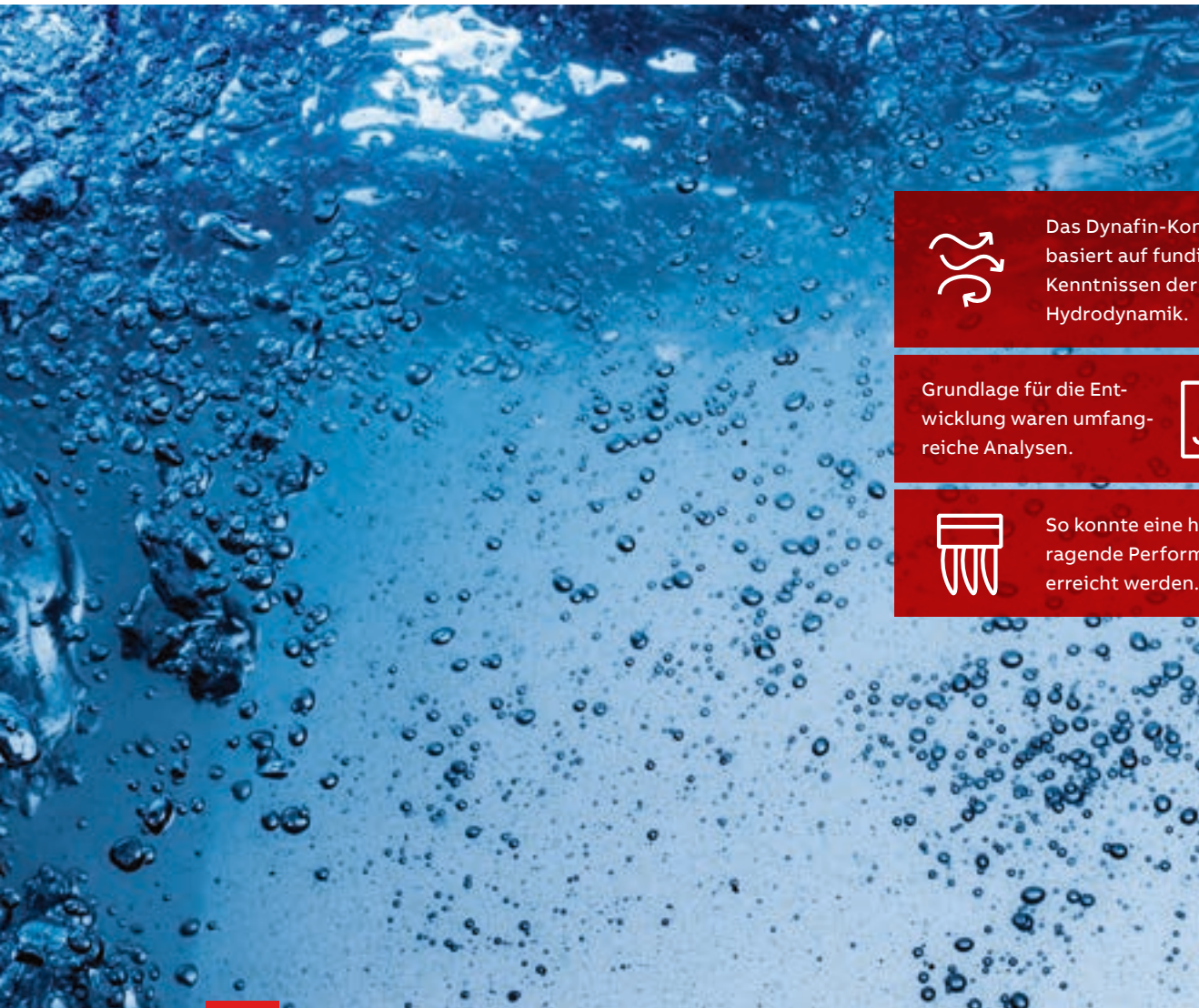
[1] Transport and Environment: „Climate impact of shipping“. Verfügbar unter: <https://www.transportenvironment.org/topics/ships/climate-impact-shipping> (abgerufen am 29.02.2024).

[2] Statista: „Shipping emissions worldwide – statistics & facts“. Verfügbar unter: <https://www.statista.com/topics/11288/shipping-emissions-worldwide/#topic-Overview> (abgerufen am 29.02.2024).

[3] G. Fasse et al.: „An experimental blade-controlled platform for the design of smart cross-flow propeller“. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801822003547> (abgerufen am 29.02.2024).

Diesen Artikel teilen





Das Dynafin-Konzept basiert auf fundierten Kenntnissen der Hydrodynamik.

Grundlage für die Entwicklung waren umfangreiche Analysen.

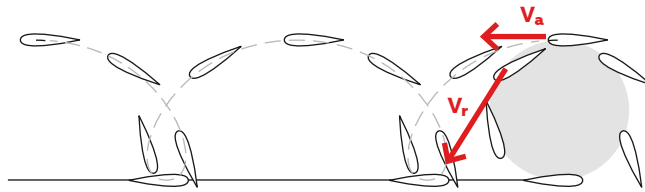


So konnte eine hervorragende Performance erreicht werden.

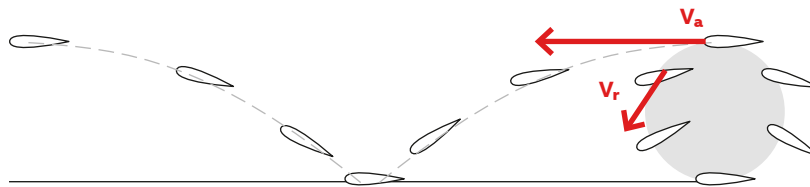
KAVITATIONSANALYSE DER ABB DYNAFIN™-TROCHOIDALPROPELLER

Dynamische Erkenntnisse

Das Kavitationsverhalten und die hydrodynamische Leistung sind entscheidende Aspekte von ABB Dynafin™, dem hocheffizienten Schiffsantriebssystem von ABB, das am Technischen Forschungszentrum Finnland VTT mithilfe von numerischen Strömungssimulationen (CFD) untersucht wurde [1]. Die Verfahren liefern Einblicke, die zu verbesserten Designs führen.



01a



01b

—
01 Trajektorien der Propellerschaukeln. V_a bezeichnet die Vorschubgeschwindigkeit, V_r die Winkelgeschwindigkeit.

01a Zyklodialpropeller mit geringer Steigung.

01b Trochoidalpropeller mit hoher Steigung.

ABB Dynafin ist ein innovatives Schiffsantriebssystem, das mithilfe von Schaufeln, die unten aus dem Schiffsrumpf ragen, Schub erzeugt. Die Schaufeln rotieren sowohl um ihre eigene Achse als auch um die Achse eines Haupttrads, auf dem sie montiert sind. Der ABB Dynafin-Antrieb erreicht eine sehr hohe hydrodynamische Effizienz und kann die Schubrichtung nahezu augenblicklich ändern. Das Ergebnis ist eine deutlich bessere Manövrierfähigkeit als bei einem Ruderpropeller, der zur Änderung der Schubrichtung um seine vertikale Achse gedreht wird.

Das ABB Dynafin-Konzept ist im Wesentlichen ein Zyklodialpropeller mit einzeln gesteuerten Schaufeln, die eine trochoidale Bewegung ausführen →01. (Ein Trochoid ist die Bahn, die ein Punkt auf dem Umfang eines Kreises beschreibt, wenn dieser sich auf einer geraden Linie abrollt.) Trochoidalpropeller sind im Prinzip nicht neu, doch technologische Einschränkungen haben eine Kommerzialisierung und Markteinführung bislang verhindert.

Kavitation

Kavitation beschreibt die Bildung kleiner dampfgefüllter Blasen in einer Flüssigkeit. Dies kann passieren, wenn der lokale statische Druck unter den Dampfdruck der Flüssigkeit fällt. Das unerwünschte Phänomen führt häufig zu Geräuschen, Propellererosion und Schäden.

Um ein genaues Verständnis der hydrodynamischen Leistung und des Kavitationsverhaltens von ABB Dynafin im Schiffsmaßstab zu entwickeln, haben das Technische Forschungszentrum

Finnland VTT und ABB zusammen eine numerische Untersuchung eines Trochoidalpropellers im Maßstab 1:1 unter benetzten und kavitierenden Bedingungen durchgeführt. Die Analysen basieren auf transienten viskosen CFD-Simulationen mithilfe der Open-Source-Software OpenFOAM und der kommerziellen Software STAR-CCM+. Die Kavitationsmodellierung erfolgt mithilfe von VOF-basierten (Volume-of-Fluid) homogenen Mehrphasen-Mischungsmodellen sowie klassischen RANS- (Reynolds-gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen) und hybriden RANS/LES-Verfahren (Large-Eddy- oder Grobstruktursimulation) zur Turbulenzmodellierung.

Strömung auf Basis der Navier-Stokes-Gleichungen

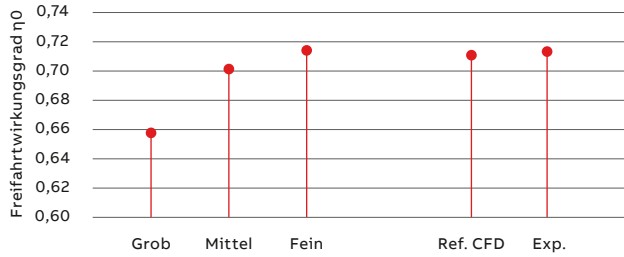
Das verwendete homogene Strömungsmodell basiert auf den Navier-Stokes-Gleichungen für zwei inkompressible, isothermische und unvermischbare Fluide, wobei Phasenübergänge durch Stofftransportmodelle berücksichtigt werden.

Ebenfalls berücksichtigt werden muss die turbulente Eigenschaft der Flüssigkeitsströmungen um eine ABB Dynafin-Schaukel. Dies geschieht mithilfe des bewährten $k-\omega$ -SST-Turbulenzmodells (SST = Shear Stress Transport). Zudem kommt in der Untersuchung eine skalenadaptive Simulation (Scale-Adaptive Simulation, SAS), ein hybrides RANS/LES-Verfahren zur Turbulenzmodellierung, das mit dem SST-Modell funktioniert, zum Einsatz [4]. Das SAS-Verfahren hat den Vorteil, dass es den turbulenten Längenmaßstab auf Basis der lokalen Strömung anpasst.

—
Ville Viitanen
Antonio Sánchez-Caja
Jussi Martio
Ilkka Perälä
VTT Technical Research
Centre of Finland Ltd.
Espoo, Finland

Mika Nuutinen
ABB Marine and Ports
Helsinki, Finland

mika.nuutinen@
abb.fi.com



02

—
02 Hydrodynamische Wirkungsgrade – vier Werte wurden per CFD-Simulation, einer experimentell ermittelt.

—
03 Darstellung des mittels CFD vorhergesagten Strömungsfelds für die Einheit mit vier Schaufeln.

03a 2-D-Schnitt.

03b Wirbel in 3-D.

Stofftransportmodelle

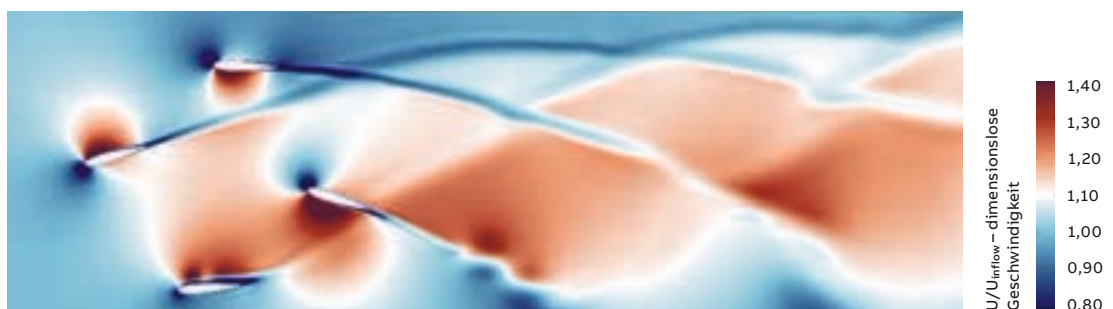
Kavitation wird mithilfe einer Stofftransportgleichung für den Volumenanteil der flüssigen Phase modelliert. Zur Berücksichtigung lokaler Effekte in der Strömung können verschiedene Stofftransportmodelle verwendet werden. Für den Stofftransport bei der Kavitation wurden verschiedene Modelle entwickelt. Typischerweise ist die Stofftransportrate proportional zu einer Druckdifferenz zum Sättigungsdruck. In OpenFOAM und STAR-CCM+ stehen mehrere Stofftransportmodelle für die Modellierung homogener Mischungen zur Verfügung. Für die vorliegende Untersuchung wird das in [5] beschriebene Modell mit beiden Lösern verwendet.

Die Diskretisierung der Strömungsgleichung erfolgt mithilfe eines Finite-Volumen-Verfahrens mit nicht versetztem Gitter. Zur Lösung des

Strömungsfelds werden zeitgenaue Simulationen durchgeführt. Bei den Simulationen mit OpenFOAM wird ein implizites Verfahren erster Ordnung für Zeitableitungen verwendet, wobei der Zeitschritt durch eine maximale Courant-Zahl von 1 in der Nähe der Schaufeln bestimmt wird. (Die Courant-Zahl gibt eine geeignete Zeitschrittgröße für einen bestimmten Strömungsgeschwindigkeitsbereich an.) In der Praxis ergaben sich daraus physikalische Zeitschritte, die $0,1^\circ$

—
Die vorhergesagten Effizienzwerte liegen sehr nahe an denen der CFD-Löser.

bis $0,5^\circ$ einer Umdrehung des Haupttrads entsprechen. Bei den Simulationen mit STAR-CCM+ kommt für Zeitableitungen ein dreistufiges implizites Verfahren zweiter Ordnung zur Anwendung. Die verwendete Zeitschrittgröße entsprach 1° einer Umdrehung des Haupttrads. Bei beiden Lösern werden alle Strömungsvariablen mithilfe räumlicher Schemata zweiter Ordnung unter Verwendung von Upwind-Verfahren für konvektive Terme diskretisiert.



03a



03b

σ_{veff}	Schubkoeffizient in x-Richtung, K_{Tx}	Drehmoment um die z-Achse	Freifahrt-wirkungsgrad
Trochoidale Trajektorie			
5,0	4,28	4,45	0,77
3,0	4,27	4,41	0,77
2,0	4,29	4,47	0,77
1,7	4,20	4,74	0,71
1,5	4,13	4,77	0,63
1,0	3,11	5,87	0,42
Optimierte Trajektorie			
5,0	4,26	4,28	0,81
3,0	4,27	4,26	0,80
1,7	4,24	4,25	0,80
1,7*	4,16	4,12	0,81
1,5	4,06	4,23	0,77
1,0	2,87	4,38	0,52

04

*Ergebnis STAR-CCM+

04 Leistungskennzahlen der ABB Dynafin-Einheit in Abhängigkeit von der Kavitationszahl für verschiedene Schaufeltrajektorien.

Validierung und Test

Um die Validität der numerischen Verfahren sicherzustellen, werden diese gegen zwei Fälle geprüft, für die experimentelle Daten und numerische Analysen vorliegen:

- Ein Trochoidalpropeller mit vier Schaufeln. Hierfür wurden zuvor Freifahrt- und Propulsionsversuche im Schlepptank des VTT sowie numerische Analysen durchgeführt [6].
- Ein Zykloidalpropeller mit fünf Schaufeln, für den experimentelle Ergebnisse vorliegen.

Nachdem sich gezeigt hat, dass die Verfahren für beide Fälle funktionieren, kann das ABB Dynafin-Konzept mit fünf Schaufeln mithilfe derselben Verfahren unter benetzten und kavitierenden Bedingungen untersucht werden. Während die Validierungsfälle unter Bedingungen im Modellmaßstab analysiert wurden, erfolgte die Untersuchung des ABB Dynafin-Konzepts mit fünf Schaufeln unter vollmaßstäblichen Bedingungen. Der Durchmesser der verwendeten ABB Dynafin-Einheit beträgt 3 m, die Spannweite der Schaufeln 3,5 m, und das Schaufelprofil ist symmetrisch.

Ergebnisse der Validierungsfälle

Für die Simulationen wurden unter anderem

folgende Randbedingungen definiert:

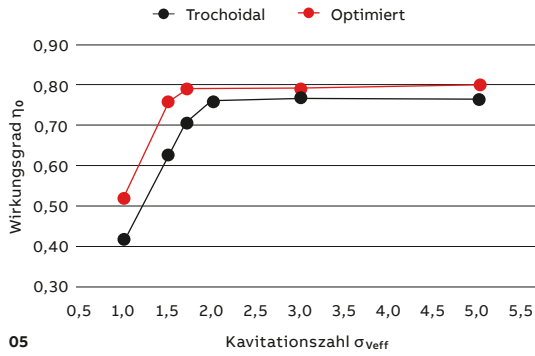
- Die Einheiten wurden so modelliert, als würden sie sich in einem rechteckigen Kavitationstunnel befinden.
- Die Strömungsgeschwindigkeit wurde am Einlass und der Druck am Auslass spezifiziert.
- Für die Tunneldecke wurde eine Haftungsbedingung (no-slip) und für die Schaufeln eine Bedingung für reibungsbehaftete bewegte Wände (no-slip moving wall) definiert.
- Die Seiten und der Boden der rechteckigen Umgebung wurden als reibungslose Wände (slip walls) modelliert.

→02 zeigt die simulierten Werte für den hydrodynamischen Wirkungsgrad der trochoidalen Einheit mit vier Schaufeln basierend auf drei verschiedenen Gitterauflösungen im Vergleich zu Simulationen mit FLUENT [6] und dem Ergebnis von Modellversuchen. Die beiden letztgenannten stimmen gut überein. Untersucht wurde eine rein trochoidale Bewegung mit $\lambda = 1,6$. Die Simulationen nähern sich monoton dem experimentellen Ergebnis an, und das Ergebnis mit feinem Gitter liegt innerhalb von 0,2 Prozent des experimentell ermittelten Werts. Die Abweichung des Ergebnisses mit mittlerem Gitter beträgt ungefähr 1,5 Prozent und die des Ergebnisses mit grobem Gitter etwas weniger als 8 Prozent.

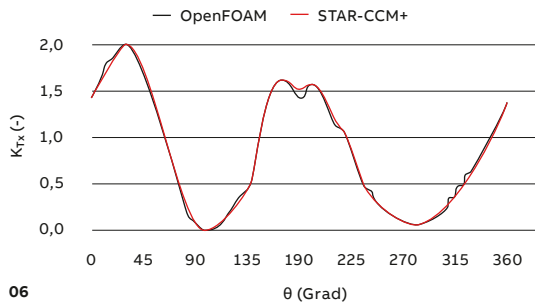
→03 zeigt das momentane Strömungsfeld der Einheit mit vier Schaufeln aus den Simulationen mit feinem Gitter. Die beschleunigte Strömung in der Nähe der Schaufeln und in der Mitte der Einheit sowie die einzelnen Nachläufe der Schaufeln sind deutlich zu erkennen. Die Auflösung der Nachlaufmerkmale bleibt im Nachstromfeld erhalten. Die Nachläufe der Schaufeln interagieren mit den nachfolgenden Schaufeln am hinteren Ende der Einheit sowie weiter stromabwärts.

Kavitationsverhalten von ABB Dynafin

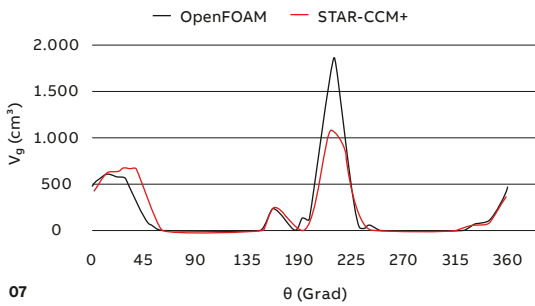
Zur Untersuchung des Kavitationsverhaltens des ABB Dynafin-Systems wurden Berechnungen auf der Grundlage einer Kavitationszahl σ_{veff} zwischen 1 und 5 – d. h. von benetzten oder kavitationsfreien Bedingungen (hohe Kavitationszahl) bis zu voll kavitierenden Bedingungen (niedrige Kavitationszahl) – durchgeführt. Die meisten Bedingungen wurden mit OpenFOAM analysiert, und an einem gewählten Betriebspunkt wurde ein Vergleich mit OpenFOAM- und STAR-CCM+-Lösungen vorgenommen. In allen Fällen wurde ein λ -Wert von 1,6 verwendet. Neben einer rein trochoidalen Bewegungsbahn (Trajektorie) wurde eine optimierte Pitch-Funktion analysiert. Ziel der Optimierung war in diesem Fall eine weitere Verbesserung der Effizienz und des Kavitationsverhaltens.



05



06



07

05 Wirkungsgrad des ABB Dynafin-Systems bei verschiedenen Kavitationszahlen. Vergleich zwischen trochoidaler und optimierter Trajektorie.

06 Schubkoeffizient für eine Schaufel während einer Umdrehung des Systems. Vergleich von OpenFOAM- und STAR-CCM+-Ergebnissen bei $\sigma_{veff} = 1,7$.

07 Dampfvolumen für eine Schaufel während einer Umdrehung des Systems. Vergleich von OpenFOAM- und STAR-CCM+-Ergebnissen bei $\sigma_{veff} = 1,7$.

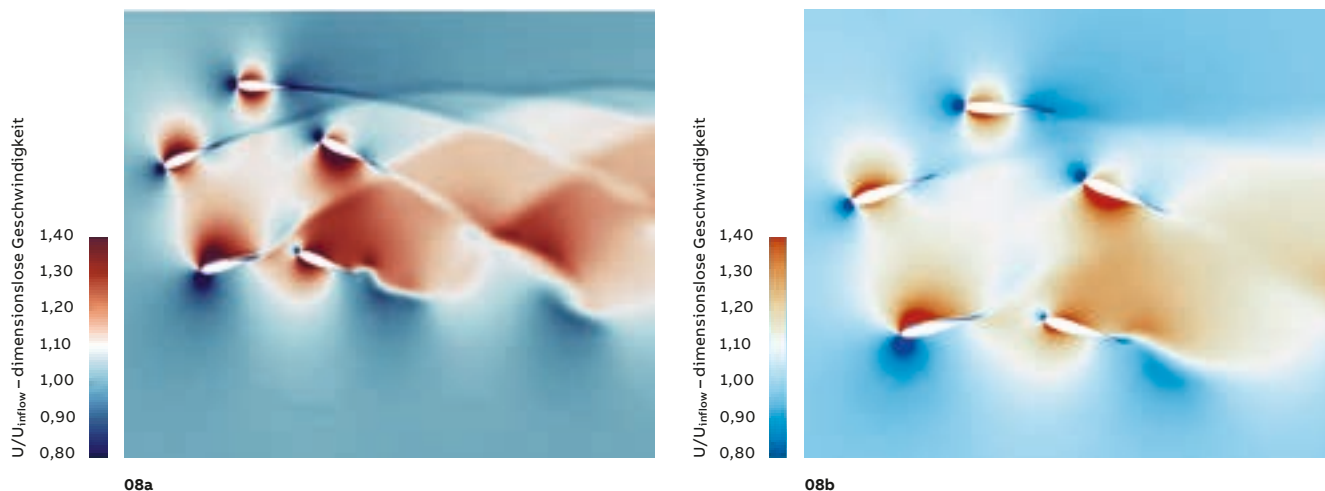
Ergebnisse für die globalen Leistungskennzahlen bei verschiedenen Kavitationszahlen sind in →04 aufgeführt. Die Tabelle zeigt die Kennzahlen für die verwendete trochoidale Trajektorie und die optimierte Trajektorie. Zum besseren Vergleich der trochoidalen und optimierten Trajektorie sind die Ergebnisse auch in →05 dargestellt.

Mit der trochoidalen Bewegung wird ein Freiwasserwirkungsgrad von 0,77 und mit der optimierten Trajektorie ein noch besserer Wert von 0,8 erreicht. Bei der optimierten Schaufeltrajektorie bleiben die Leistung und der Schub bis unterhalb von $\sigma_{veff} \approx 1,7$ mit geringen Schwankungen hoch. Bei der rein trochoidalen Trajektorie kommt es etwas früher zu einem Einbruch des Schubs, danach fällt die Wirkungsgradkurve ab. Vergleicht man die Ergebnisse der CFD-Löser von OpenFOAM und STAR-CCM+, zeigen sich leichte Unterschiede in den vorhergesagten Schub- und Drehmomentkoeffizienten, wobei die Werte in der STAR-CCM+-Lösung niedriger

ausfallen. Bei den Drehmomentkoeffizienten sind die Abweichungen etwas größer als bei den Schubkoeffizienten. Diese Unterschiede können zum Teil auf die Verwendung unterschiedlicher Zeit- und Gitterauflösungen, insbesondere in den Grenzschichten der Schaufeln, zurückzuführen sein. Dennoch liegen die vorhergesagten hydrodynamischen Effizienzen sehr nahe an denen der CFD-Löser.

Der durch Simulation mit OpenFOAM und STAR-CCM+ ermittelte Schubkoeffizient für eine einzelne Schaufel während einer Umdrehung des Haupttrads ist in →06 dargestellt. →07 zeigt die Dampfvolumenentwicklung für eine Schaufel: Während sich die Schaufeln im vorderen Teil der Einheit drehen ($\theta = 315^\circ$ bis 45°) und nach unten bewegen, beginnt die Kavitation zuerst in der Nähe der Wurzeln und nimmt dann spannweitig zu, um schließlich eine dünne Region nahe der Schaufelvorderkante zu bedecken. Nach einem kavitationsfreien Bereich folgt ein Abschnitt mit zunehmendem Dampfvolumen mit zwei Spitzen bei etwa $\theta \approx 160^\circ$ und $\theta \approx 200^\circ$. Die stärkste Dampfbildung findet am hinteren Teil der Einheit statt, d. h. nachdem die Schaufel $\theta \approx 180^\circ$ passiert hat. Zwischen etwa 240° und 315° tritt ein kavitationsfreier Bereich auf. Die verwendeten CFD-Methoden für homogene Mischungen sagen vornehmlich Schichtkavitation an den Schaufeln vorher.

Insgesamt weisen die Kurven für Schub und Gasvolumen bei beiden CFD-Lösern für den größten Teil der Raddrehung eine ähnliche Form auf. Unterschiede treten hauptsächlich auf, wenn sich die Schaufel durch die Nachlaufströmung bewegt, die von den anderen Schaufeln bei der Drehung des Haupttrads erzeugt wird, beispielsweise bei $\theta = 180^\circ$. →08 zeigt die skalierte dimensionslose Strömungsgeschwindigkeit (U/U_{inflow}) auf der mittleren z-Ebene der Einheit. Die Nachläufe einzelner Schaufeln sind in OpenFOAM-Simulationen deutlicher aufgelöst, und die Nachlaufeffekte bei der Bewegung einer Schaufel durch die Nachlaufströmung einer anderen sind im Kraft-Zeit-Verlauf der Schaufel ausgeprägter. Beachtenswert ist eine leichte Abweichung im Verlauf der Dampfentwicklung bei $\theta \approx 45^\circ$, d. h. wenn die rotierenden Schaufeln auf eine ungestörte Strömung treffen. Um die möglichen Ursachen dieser Diskrepanz zu ermitteln, sind weitere Untersuchungen erforderlich. Neben Unterschieden in den Gitterauflösungen war in den STAR-CCM+-Simulationen der verwendete Zeitschritt etwas größer, was die numerische Diffusion in der Strömungslösung erhöhen kann. Zudem kann der kürzere Zeitschritt in den OpenFOAM-Simulationen zu einem höher aufgelösten Dampffeld führen.



08 Darstellung des mittels CFD vorhergesagten Strömungsfelds bei $\sigma_{\text{veff}} = 1,7$. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde mit der Anströmgeschwindigkeit skaliert.

08a Simulationen mit OpenFOAM.

08b Simulationen mit STAR-CCM+.

Simulation entspricht der Realität

Die vom VTT und ABB gemeinsam durchgeführte Studie bescheinigt dem ABB Dynafin-System bei einer rein trochoidalen Bewegung der Schaufeln mit Wirkungsgraden um 0,8 eine gute Performance. Unter den betrachteten Bedingungen bleibt die Leistung bis zu relativ niedrigen Kavitationszahlen hervorragend. Das Kavitationsverhalten und die hydrodynamische Leistung lassen sich mithilfe einer optimierten Pitch-Funktion gegenüber der rein trochoidalen Bewegung weiter verbessern.

Die Ergebnisse der Simulationen mit OpenFOAM stimmten gut mit den verfügbaren experimentellen Daten und Ergebnissen von Referenzsimulationen überein. Insgesamt lieferten die auf die ABB Dynafin-Einheit angewandten CFD-Verfahren ähnliche Ergebnisse. Unterschiede im Strömungsfeld und der zeitlichen Entwicklung

des Dampfvolmens wurden beobachtet und diskutiert. Es sollten weitere Betriebspunkte untersucht werden, um genauere Daten über das Einsetzen der Kavitation und die Entwicklung der Leistungskennzahlen zu generieren. Eine detaillierte Beschreibung der in diesem Artikel umrissenen Studie ist in [1] zu finden.

Zukünftige Arbeiten beinhalten eine numerische Unsicherheitsanalyse hinsichtlich der Gitterauflösung. Darüber hinaus könnte die Implementierung von skalenauflösenden Verfahren zur Turbulenzmodellierung eine eingehendere Untersuchung der Kavitationsdynamik und Mehrphasenströmung ermöglichen. Außerdem könnte durch Anwendung von Zwei-Fluid-Methoden in Ergänzung zu den aktuellen Mehrphasen-Mischungsmodellen eine vollständigere Abbildung der Kavitationsmerkmale und -arten erreicht werden. •

Danksagung

Die Autoren danken dem HPC-Cluster des VTT („The Doctor“) und dem CSC – IT Center for Science in Finnland für die Bereitstellung der Rechenressourcen. Ihr besonderer Dank gilt außerdem Business Finland für die Unterstützung beim Projekt „UltraPropulsor“.

Literaturhinweise

[1] V. Viitanen et al.: „Cavitation analyses of trochoidal propellers“. ISOPE 2024 – The International Society of Offshore and Polar Engineers Conference, Rhodos, Griechenland, Juni 2024.

[2] F. R. Menter et al.: „Ten years of industrial experience with the SST turbulence model“. *Turbulence, Heat and*

Mass Transfer 4(1), 2003, S. 625–632.

[3] B. E. Launder, B. Spalding: „The numerical computation of turbulent flows“. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 3(2), 1974, S. 269–289.

[4] Y. Egorov, F. R. Menter: „Development and application of

SST–SAS model in the DESIDER project“. *Advances in Hybrid RANS–LES Modelling. Notes on Numerical Fluid Mechanics*, 2008, S. 261–270.

[5] G.H. Schnerr et al.: „Physical and Numerical Modelling of Unsteady Cavitation Dynamics“. ICMF-2001 – 4th International Conference on

Multiphase Flow, New Orleans, USA, 2001.

[6] J. Salminen: „Three-dimensional computational fluid dynamics analysis of cyclorotor propulsion system“. Master's Thesis. Aalto University, School of Engineering, 2023.

Diesen Artikel teilen



PRÄZISE STEUERUNG DER ABB DYNAFIN™-TROCHOIDALPROPELLER

Koordinierte Bewegung

Im Gegensatz zu einem traditionellen Schiffspropeller besitzt der revolutionäre ABB Dynafin-Schiffsantrieb mehrere bewegliche Teile. Um eine optimale Leistungsfähigkeit zu erreichen, müssen diese präzise koordiniert werden – auch unter rauesten Einsatzbedingungen auf hoher See. Dazu ist ein ausgeklügeltes Steuerungssystem erforderlich.



Ali Pekcan
ABB BL Propulsion
Helsinki, Finnland
ali.pekcan@fi.abb.com

ABB Dynafin ist ein revolutionäres Schiffsantriebssystem, das die Fähigkeiten von Antriebssystemen mit Zykloidalpropeller erweitert, indem es die Steuerung der einzelnen Schaufeln mithilfe von Permanentmagnetmotoren ermöglicht. Das

Jede Schaufel besitzt einen eigenen Motor, mit dem sich der Pitch-Winkel einstellen lässt.

Konzept kombiniert Antrieb und Lenkung in einem von der Bewegung eines Walschwanzes inspirierten System. Durch effektive Anpassung des Steigungswinkels (Pitch) jeder einzelnen Schaufel erreicht ABB Dynafin eine wesentlich bessere hydrodynamische Effizienz und Manövrierfähigkeit als herkömmliche Schraubenpropeller.

Dabei kommt es auf eine genaue Steuerung der Antriebs- und Lenkelemente an, damit diese auch in sehr dynamischen Umgebungen exakt den erforderlichen Bewegungsbahnen (Trajektorien) folgen. Dies erfordert eine präzise Steuerungsstrategie.

Steuerung per „digitalem Propeller“

ABB Dynafin besteht aus zwei Hauptkomponenten: einem Hauptantriebsmotor und einem rotierenden unteren Teil, der die Schaufelmotoren enthält →01. Der Hauptmotor, der fest mit dem Schiffsrumpf verbunden ist, dreht den unteren Teil und liefert den Hauptschub. Jede der am unteren Teil montierten Schaufeln wird von einem eigenen Motor angetrieben, mit dem sich der Pitch-Winkel der Schaufel genau einstellen lässt, um die Schubkraft und -richtung anzupassen. Die Schaufelantriebe werden über eine Schleifringeinheit mit Strom versorgt, um ein freies Drehen des Hauptantriebsmotors zu gewährleisten. Der Schleifring stellt auch die physische Verbindung für die Kommunikation mit den Steuereinheiten der Schaufelantriebe her.



Die wichtigsten Steuerkommandos auf einem typischen Schiff beziehen sich auf den Ruderwinkel und die Propellerdrehzahl. Mit ABB Dynafin kann der Kapitän die gewünschte Schubkraft und -richtung von der Brücke aus über gängige Bedienschnittstellen vorgeben (ABB Dynafin repliziert das Bedienkonzept des ABB Azipod®-Systems, um die Kompatibilität mit vorhandenen Systemen sicherzustellen und ein optimales Nutzererlebnis zu ermöglichen). Dieses Konzept eines „digitalen Propellers“ erweitert die möglichen Standard-Betriebsarten, die für das Schiff zur Verfügung gestellt werden können. Da sich jede Schaufel einzeln steuern lässt, können zum Beispiel neben den gängigen Betriebsarten wie Pfahlzug, dynamische Positionierung, See-transit und Manövriermodus neue Betriebsarten und Trajektorien definiert und bereitgestellt werden. Dazu werden die Steuerparameter für



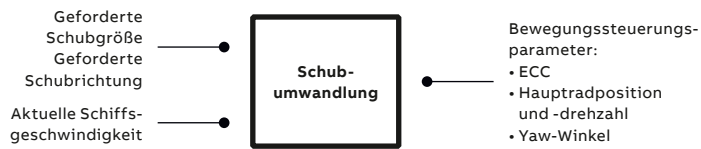
Dynafin besitzt zahlreiche bewegliche Teile, deren Bewegungen koordiniert und optimiert werden müssen.

ABB hat einen entsprechenden Steueralgorithmus entwickelt.

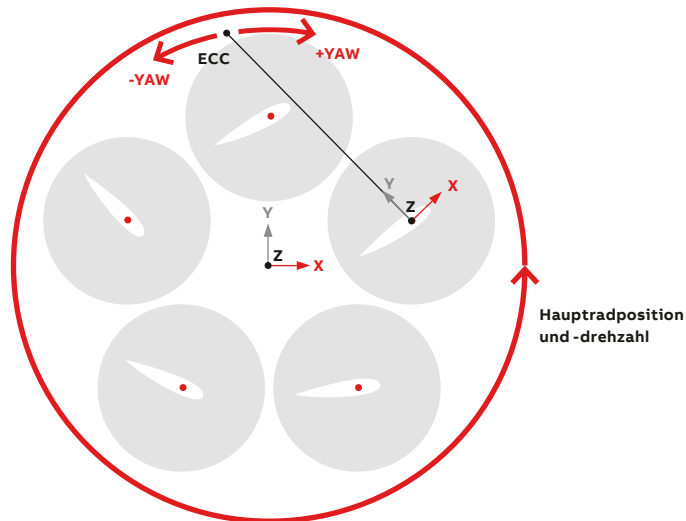


Hohe Standards in puncto Leistung, Sicherheit und Redundanz werden erfüllt.





01



02

— 01 Schubumwandlung: Die erforderliche Schubkraft und -richtung wird in Bewegungssteuerungsparameter umgesetzt.

— 02 Bewegungssteuerungsparameter: Exzentrizität (ECC), Yaw-Winkel sowie Haupttradposition und -drehzahl.

den betreffenden Modus optimiert und die Trajektorien der Schaufeln mit den jeweiligen Pitch-Winkeln sowie das Verhalten des Haupttrads entsprechend angepasst.

Hinter diesem recht einfach klingenden Ansatz steckt ein ausgeklügeltes Steuerungssystem.

Das ABB Dynafin-Steuerungssystem

Die High-Level-Steuerung von ABB Dynafin übersetzt die vom Kapitän angeforderte Geschwindigkeit und Fahrtrichtung in eine entsprechende Drehzahl für das Haupttrad und einen Pitch-Winkel für jede Schaufel. Dieser Teil der Steuerung – die sogenannte Schubumwandlung – findet in der Hauptsteuereinheit statt. Das Schubumwandlungsmodul übermittelt dann den Sollwert für die Drehzahl an den Hauptantrieb und liefert jeder Schaufelsteuereinheit die Bewegungssteuerungsparameter für die erforderliche Schaufeltrajektorie.

Die Bewegungssteuerung an jeder Schaufelsteuereinheit (Low-Level-Steuerung) hat die Aufgabe, die von der Schubumwandlung bestimmten und durch die Bewegungssteuerungsparameter definierten Trajektorien umzusetzen. Die Bewegungssteuerungsparameter

definieren die Trajektorien, denen jede Schaufel bei einer Umdrehung des Haupttrads folgt. Zu den Parametern gehören der Exzentrizitätspunkt (ECC), d. h. der Punkt, zu dem alle Schaufeln im rechten Winkel stehen, die Position und Drehzahl des Haupttrads und der sogenannte Gier- oder Yaw-Winkel. Dieser definiert die Rotation des Schubvektors, die durch Drehung des Exzentrizitätspunkts hervorgerufen wird →01–02. Der Exzentrizitätsparameter wird zur Berechnung des Pitch-Winkels der Schaufeln verwendet. Um die Bewegung eines Walschwanzes zu erzeugen, folgen die Schaufeln einer Trochoidenbahn, bei der der Exzentrizitätspunkt außerhalb des Rollkreisumfangs liegt. Wenn $ECC = 0$ ist, rotieren die Schaufeln entlang des Kreisumfangs, wobei der Pitch-Winkel der Kreisbahn folgt.

Der Sollwert für die Haupttraddrehzahl wird von der Schubumwandlung an den Umrichter des Hauptantriebs übermittelt. Die Ist-Drehzahl und -position des Haupttrads werden vom Haupttradgeber an die Hauptsteuereinheit übertragen. Tests haben gezeigt, dass der ABB Dynafin-Steueralgorithmus in der Lage ist, die Schaufeln mit der erforderlichen Präzision zu bewegen.

Die Messungen des Haupttradgebers werden auch an die Steuereinheiten der einzelnen Schaufeln übermittelt, damit diese ihre Position während der Drehung des Haupttrads präzise einhalten können. Wie erwähnt, ist die Bewegungssteuerung der Schaufeln in den Schaufelsteuereinheiten für jeden Schaufelantrieb getrennt implementiert. Diese Trennung ermöglicht eine schnelle Kommunikation mit jedem Antrieb und reduziert die Rechenlast für die Hauptsteuereinheit. Die Low-Level-Steuerung arbeitet mit Zykluszeiten von unter einer Millisekunde. Die Schaufelposition und die Winkelgeschwindigkeit werden mithilfe von Gebern an den Schaufeln gemessen und direkt an die Schaufelsteuereinheiten übermittelt. Erwähnenswert ist, dass die Schaufelanzahl keinerlei Auswirkungen auf das Gesamtsteuersystem hat und die Steuerung modular an eine größere oder kleinere Anzahl von Schaufeln angepasst werden kann.

Herausforderungen für die Schaufelsteuerung

Die Low-Level-Steuerung basiert auf der Funktion des Schaufelwinkels (Pitch-Funktion) in Form eines mathematischen Modells und auf dem Wissen über Störungen (hydrodynamische Lasten, Reiblasten, Beschleunigungsänderungen usw.). Um eine hohe Leistungsfähigkeit zu erreichen, muss das ABB Dynafin-Antriebssystem der vorgegebenen Pitch-Funktion mit hoher Präzision folgen. Dies ist allerdings mit einigen Herausforderungen für die Schaufelsteuerung verbunden:

- Der Drehpunkt der Schaufel liegt typischerweise nicht auf einer Linie mit der Hauptträgerschwerachse. Dieser Versatz sorgt bei Drehung des Rads für ein Fliehkraftmoment, das die Schaufelsteuerung verkompliziert.
- Viele Pitch-Funktionen, die auf eine hohe Effizienz abzielen, erfordern eine Schaufelbewegung mit einer hohen Beschleunigung und schnellen Beschleunigungsänderungen, was für die Schaufelmotoren und -umrichter schwer wirksam umzusetzen ist.
- Bei bestimmten Pitch-Funktionen sind Änderungen der Schaufeldrehrichtung notwendig, was Schaufelmotoren erfordert, die das Reibmoment kompensieren.
- Die auf die Schaufeln wirkenden hydrodynamischen Lasten führen zu Abweichungen in den Pitch-Funktionen. Folgt das System den vorgegebenen Pitch-Funktionen nicht exakt, kann dies zu verminderter Propellerleistung, einem erhöhten Drehmoment an den Radmotoren und einer geringeren Gesamteffizienz führen.

Die Steueralgorithmen von ABB Dynafin sind darauf ausgelegt, diese Herausforderungen zu bewältigen.

Der Drehmomentsollwert für die Schaufelsteuerung wird für jeden Schaufelantrieb mithilfe einer Vorsteuerung generiert →03. Die Bewegungssteuerungsparameter (Drehzahl, ECC, Yaw-Winkel und Haupttradposition) werden dem Steuerblock für die Schaufelbewegung zugeführt, wo ein Positionssollwert und die erforderlichen Ausgaben des Vorsteuermodells für die Störungskompensation berechnet werden. Der Steuerblock für die Schaufelantriebe errechnet das für eine hochpräzise Schaufelbewegung erforderliche finale Drehmoment. Diese modellbasierte Vorsteuerung liefert einen genauen Drehmomentwert zur Kompensation von Fliehkraftmomenten, Beschleunigungsmomenten, Reibmomenten und hydrodynamischen Momenten, die für eine Regelung allesamt schwierig zu handhaben sind. Ferner berücksichtigt die Steuerungssoftware die Grenzen und den Übergang der Trajektorien in der finalen Phase, um reibungslose Übergänge und machbare Drehmomentprofile zu gewährleisten.

Tests mit Hardware

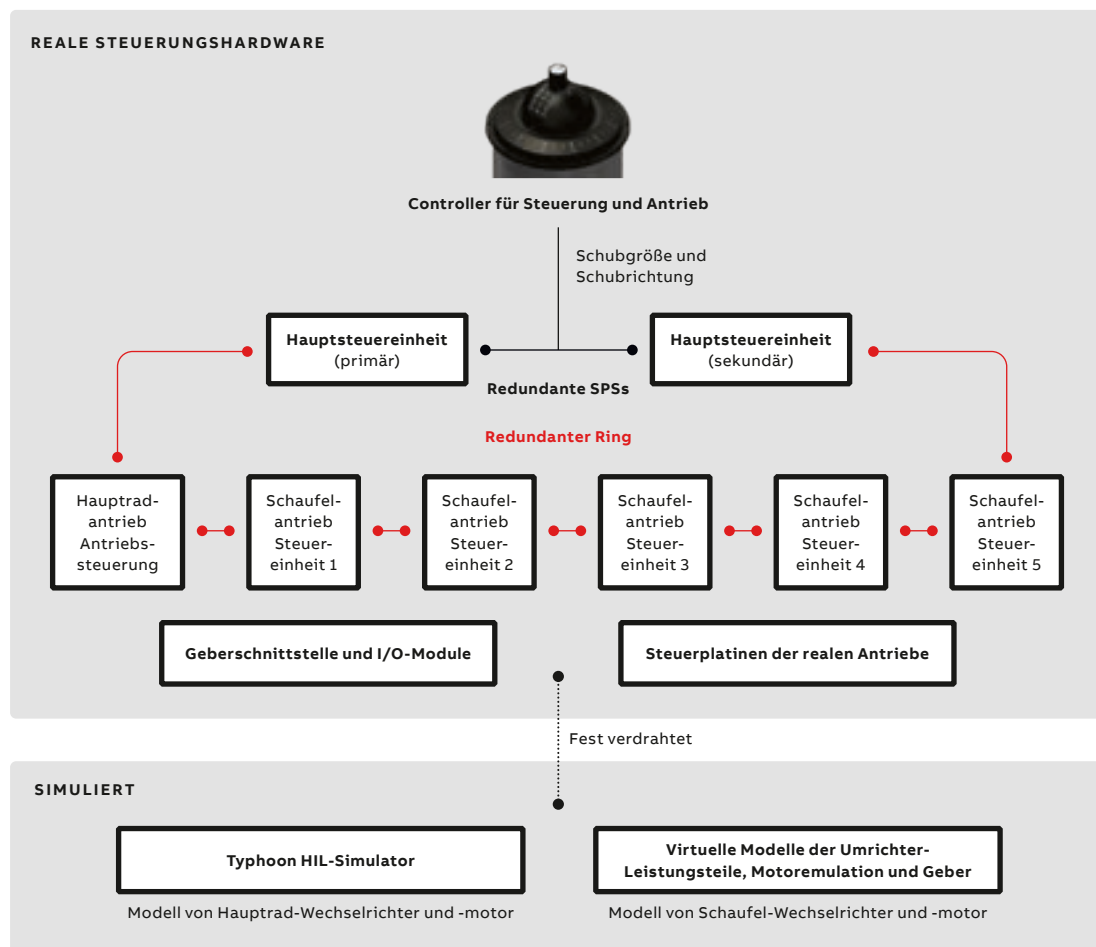
Das ABB Dynafin-Team hat eine HIL-Testplattform (Hardware-in-the-Loop) entwickelt, um die Leistungsfähigkeit der Steuerung, die Anforderungsanalyse, die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) sowie die Eignung der Hardware für das Endprodukt zu verifizieren →04.

Bei HIL-Tests wird das zu prüfende System mit einer Simulation oder einem Modell seiner Umgebung verbunden. Anschließend werden die Reaktionen des Systems auf verschiedene Eingaben gemessen und mit den erwarteten Ergebnissen verglichen. HIL-Simulationen ermöglichen eine Evaluierung des Steuerungssystems in einer kontrollierten Umgebung vor dem Einsatz im realen maritimen Umfeld.

Im Fall von ABB Dynafin wurden für die HIL-Tests alle physischen Komponenten aus der Topologie des Steuernetzwerks – zum Beispiel die Hauptsteuereinheit, Schaufelsteuereinheiten Schnittstellenkarten und I/O-Module – mit einer Simulation verbunden, die die Lastbedingungen und verschiedene Betriebsszenarien nachbildet. Die erforderlichen Motormodellparameter werden von den Motorlieferanten bereitgestellt. Die hydrodynamischen Lasten werden mithilfe von CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) der zu prüfenden Trajektorien generiert. Das Leistungsteil der Umrichter wird ebenfalls modelliert.



03 HIL-Testanordnung. Bei HIL-Tests wird die reale Produkthardware mit simulierten Last- und Betriebsbedingungen verbunden.



03

Zunächst wurde ein System mit zwei Schaufeln erstellt, um verschiedene Aspekte der Antriebe, Steuereinheiten, Redundanzkonzepte, Schaufelbewegung usw. zu verifizieren. Da die Topologie des Stuenetzwerks mittlerweile eingefroren ist, wird das HIL-Testsystem für die zweite Testphase auf eine Anordnung mit fünf Schaufeln erweitert.

Redundanz und Ausfallsicherheit

Auf See sind die Zuverlässigkeit des Schiffs und die Sicherheit der Besatzung von größter Wichtigkeit. Aus diesem Grund orientiert sich die Topologie des Stuenetzwerks an Standardanforderungen, die die notwendige Redundanz und Leistungsfähigkeit sicherstellen. Jede Designkomponente wurde einer umfassenden Design-FMEA unterzogen, und aktive Komponenten wurden gemäß dem sogenannten „Einzelfehlerkriterium“ redundant ausgeführt. Das Ergebnis der FMEA zeigt, dass ABB Dynafin die Richtlinien der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO) und des SOLAS-Übereinkommens (International Convention for the Safety of Life at Sea)

erfüllt. So wird zum Beispiel bei einem Ausfall die Steuerbarkeit des Schiffs sichergestellt, indem die ausgefallene Einheit in den Rudermodus schaltet, bei dem das Haupttrad angehalten wird und alle aktiven Schaufeln als Ruder zur Steuerung des Schiffs genutzt werden.

ABB Dynafin zeichnet sich in allen Bereichen durch eine erstklassige Leistungsfähigkeit, Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit aus. Ermöglicht wird dies durch ein ausgeklügeltes Steuerungssystem, das den vielen Herausforderungen, die an einen Schiffsantrieb mit vielen beweglichen Teilen unter den rauen Bedingungen auf hoher See gestellt werden, gerecht wird. •

Diesen Artikel teilen



—

KOOPERATION MIT DEM VTT IM RAHMEN
DES ABB DYNAFIN™-PROJEKTS

Stärke durch Zusammenarbeit

Eine kritische Phase des ABB Dynafin™-Projekts wurde in Zusammenarbeit mit dem Technischen Forschungszentrum Finnland VTT, der größten Organisation für Technologie und angewandte Forschung in Finnland, durchgeführt. Die Arbeit ist Teil einer wertvollen und fortlaufenden Kooperation zwischen ABB und dem VTT.



ABB hat mit dem maritimen Team des VTT zusammengearbeitet.

Die Zusammenarbeit umfasste CFD-Analysen und Modellversuche.



Zu den vorherigen Projekten gehört der erfolgreiche ABB Azipod-Antrieb.



01

—

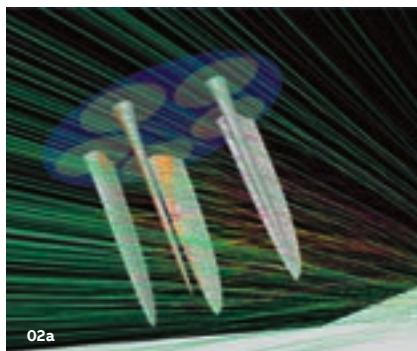
01 Modellversuche im Schlepptank des VTT in Otaniemi, Finnland.

—

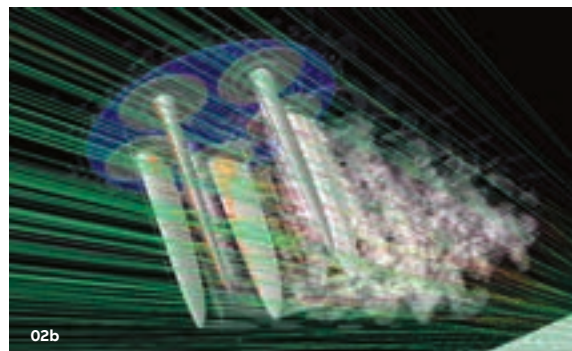
02 Das VTT führte umfangreiche Modellversuche im Schlepptank durch.

02a „Saubere“ Strömungslinien.

02b Mit Nachlauf/ Kavitation.



02a



02b



03



04

— 03 Der Schlepptank des VTT ist groß genug für umfassende Modellversuche.

— 04 Das VTT verfügt über sämtliche Kompetenzen für das Engineering von Versuchsumgebungen. Hier installiert ein VTT-Ingenieur zur Vorbereitung einer Erprobungsfahrt Messgeräte an der Propellerwelle eines Schiffs.

Das VTT ist ein visionärer Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationspartner und eine der führenden Forschungsorganisationen in Europa. Die über 2.000 Beschäftigten des VTT befassen sich mit der Entwicklung systemischer und technologischer Lösungen mit hohem Transformationspotenzial.

Das maritime Team des VTT befasst sich schwerpunktmäßig mit der Hydrodynamik von Schiffsantrieben, der Energieeffizienz von Schiffen und strukturellen Problemen auf Schiffen. Im Bereich Hydrodynamik verfügt das VTT über erstklassige Ressourcen für numerische Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics, CFD) mit eigens entwickelten Programmen zur schnellen Untersuchung hydrodynamischer Probleme. Die numerischen Untersuchungen werden unterstützt durch umfangreiches Know-how in der Durchführung von Messungen im Modellmaßstab und in Großausführung.

Die Wurzeln der Zusammenarbeit zwischen dem VTT und ABB reichen zurück bis zur Entwicklung der ersten Azipod®-Antriebseinheiten in den 1980er Jahren. Zu den frühen Arbeiten gehörten hydrodynamische Untersuchungen von Azipod-Einheiten mithilfe von computer-gestützten Werkzeugen und Modellversuchen. Ein weiterer Schwerpunkt der Zusammenarbeit war die Untersuchung und Messung von Eislasten im Zusammenhang mit Azipod-Antrieben. Die Messungen unter schwierigen Eisbedingungen haben ABB dabei geholfen, Azipod-Antriebe für die höchsten Eisklassen zu entwickeln. Auch Material- und Komponententests für einige Azipod-Teile wurden in den Prüfeinrichtungen des VTT durchgeführt.

Die Zusammenarbeit am Dynafin-Antrieb begann im Jahr 2014, als ABB das maritime Team des VTT mit der Untersuchung neuer Antriebskonzepte

betrachte. Dazu gehörten Schaufelräder, Schlagflächen und Zykloidalpropeller. Da keine systematischen Untersuchungen dieser Konzepte vorlagen, mussten Simulationen mit einer großen Bandbreite an Parametern durchgeführt werden, um das hydrodynamische Potenzial der einzelnen Konzepte zu beurteilen. Dabei spielten die vom VTT entwickelten Tools eine wichtige Rolle, da sie eine schnelle Untersuchung der hydrodynamischen Leistung jedes Konzepts ermöglichten. Später wurden die gewählten Ideen genaueren, aber zeitaufwändigeren CFD-Analysen unterzogen. Der gewählte zyklonale Ansatz mit trochoidaler Schaufelbewegung bildete den Ausgangspunkt für die Entwicklung des Dynafin-Produkts. Nachdem das Konzept gewählt war, wurden die numerischen Simulationen durch Modellversuche im Schlepptank des VTT in Otaniemi (Finnland) verifiziert →01–03. Das maritime Team des VTT unterstützte ABB bei der Konstruktion der Modelleinheit für die Tests, und zwischen 2017 und 2019 wurden verschiedene Modellversuche einschließlich Freifahrtversuchen und Propulsionsversuchen durchgeführt →04.

Seit Kurzem wird die Erforschung neuartiger Schiffsantriebe am VTT im Rahmen eines Forschungsprojekts namens UltraPropulsor fortgesetzt, für das mehrere Unternehmen, darunter auch ABB, entsprechende Produkte und Konzepte entwickeln. Das VTT koordiniert das Projekt und führt ein öffentliches Forschungsprojekt mit dem Ziel durch, das Wissen über Kavitationsmodellierung, hydrodynamische Modellierung, Eislasten und Propellermaterialien zu vertiefen. •



Ilkka Perälä
VTT Technical Research
Centre of Finland Ltd.
Espoo, Finnland

ilkka.perala@vtt.fi

— **Kontakt für weitere Informationen**

Janne Pohjalainen
ABB Marine & Ports
Helsinki, Finnland

janne.pohjalainen@
fi.abb.com

Diesen Artikel teilen





DIE VISION UND DAS ENGAGEMENT HINTER ABB DYNAFIN™

Teamleistung

Einige Mitglieder des multidisziplinären ABB Dynafin-Teams am Ufer des Sees, auf dem Versuchsfahrten unternommen wurden.

Ein Gespräch mit Veli-Pekka Peljo, Leiter des multidisziplinären Teams, das den ABB Dynafin™-Antrieb entwickelt hat.

Als Veli-Pekka Peljo, Senior Project Manager im Bereich Solutions Development →01, im Jahr 2003 als Designingenieur zu ABB Marine & Ports kam, befasste er sich mit der Weiterentwicklung der ABB Azipod®-Antriebstechnologie. Zehn Jahre später übernahm er die Leitung des multidisziplinären Teams, das für die Entwicklung des im Mai 2023 vorgestellten ABB Dynafin-Antriebs verantwortlich zeichnet. Im Gespräch erklärt er, wie das Konzept entstanden ist, welche gemeinsamen Anstrengungen erforderlich waren, um es ins Prototypenstadium zu überführen, und warum ein klares Ziel und eine offene Denkweise entscheidend für den Umgang mit Unsicherheit sind.

Es war ein langer Weg, seit Peljo 2013 die Leitung des Projekts „Total New Propulsion“ mit dem

Ziel übernahm, eine Antriebseinheit mit einem Wirkungsgrad von über 80 Prozent zu entwickeln. „Schon damals galt die Elektrifizierung von Schiffen als Trend, aber der grüne Wandel war noch Zukunftsmusik. Zu der Zeit waren die Preise für Schiffskraftstoffe auf einem Rekordhoch, weshalb Kraftstoffeffizienz und Emissionsreduktion in den Köpfen der Leute ganz oben standen und zu den Haupttreibern für das Projekt wurden.“

Zurück zu den Grundlagen

Als sie mit den Arbeiten begannen, erkannten Peljo und sein Team, dass eine dramatische Steigerung der Effizienz herkömmlicher Lösungen mit Schraubenpropellern über die bereits erzielten schrittweisen Verbesserungen hinaus nicht möglich war. „Wir wussten, um die Herausforderung zu bewältigen, mussten wir zu den Basics zurückkehren, tief in die theoretischen Grundlagen der Schuberzeugung einsteigen und von Grund auf etwas Neues entwickeln.“

Als erstes führte ABB mithilfe von Studierenden der Aalto-Universität in Espoo im Rahmen eines sogenannten PdP (Product Development Project) [1] eine Big-Picture-Analyse des idealen Antriebs durch. Durch Literaturrecherche wurde



01



Dieser Artikel betrachtet die Dynafin-Story aus einem persönlichen Blickwinkel.

Dynafin basiert auf über

10 Jahren

wegweisender Forschung.



Dynafin kommt zur richtigen Zeit, um die Anforderungen in puncto Kraftstoffeffizienz zu erfüllen.

festgestellt, was für Konzepte in der Vergangenheit veröffentlicht wurden und welche Patente es gab. „Das hat viele Ideen hervorgebracht – von Schraubenpropellern, Schaufelrädern und Luftantrieben bis hin zu elektromagnetischen Strahlrudern und biomimetischen Antrieben. Die Aalto-Leute haben analysiert, wie Fische, verschiedene Meeressäuger und sogar Insekten Schub erzeugen“, erzählt Peljo.

Das kombinierte Aalto/ABB-Team kam schließlich auf 69 Konzepte, die gegen die ideale Antriebtheorie geprüft wurden. Zwei Hauptkriterien für die besten Lösungen waren eine optimale Nutzung der Querfläche am Ende eines Schiffs und das Erreichen des höchsten Wirkungsgrads bei geringsten Kosten. „Das erforderte viele Workshops, bei denen schließlich fünf Konzepte identifiziert wurden, mit denen wir uns weiter befasst haben: Azipod® XL, ein nabenloser Düsenpropeller, ein fortschrittliches Schaufelradkonzept, ein Schlagflächenantrieb und ein Trochoidalpropeller“, erklärt Peljo.

„Nach weiteren Iterationen haben wir erkannt, dass eine Schlagfläche oder Schaufel, die die Bewegung eines Walschwanzes (eine sogenannte trochoidale Trajektorie) imitiert, zweifellos die effizienteste Lösung darstellt. Dies war der Keim der Idee zu ABB Dynafin.“

Des Rätsels Lösung

Nun bestand die Herausforderung darin, die Schlagfläche mit der Wellendrehbewegung eines Elektro- oder Dieselmotors zu verbinden, um ein Schiff anzutreiben. „Man kann eine einzelne Fläche auf und ab bewegen, aber wir haben herausgefunden, dass es am besten ist, wenn man mehrere vertikale Schaufeln verwendet, die mit einem zentralen rotierenden Rad verbunden sind. Dann haben wir das VTT – ein staatliches technisches Forschungszentrum in Finnland und

eines der führenden Institute in Europa – gebeten, zusammen mit uns hydroanalytische Modelle zu erstellen, um genau zu sehen, wie diese Anordnung Schub erzeugen kann [2].

„Die Lösung bestand darin, jede Schaufel mit einem eigenen Antriebsmotor auszustatten und so eine unabhängige Steuerung zu ermöglichen. So lässt sich der Anstellwinkel jeder Schaufel während der Drehung des Haupttrads unter Berücksichtigung des Nahstromfelds vorprogrammieren.“

„Das VTT hat die Wirksamkeit des Konzepts sehr schnell nachgewiesen, wobei deren Berechnungen mit einer optimierten trochoidalen Schaufelbewegung einen Wirkungsgrad von über 0,8 ergaben. Außerdem haben wir deren Formeln genutzt, um geometrische Faktoren wie die Höhe und Sehnenlänge der Schaufeln und betriebliche Parameter wie die Drehzahl zu optimieren.“

CFD bestätigt das Konzept

Der nächste Schritt bestand darin, ein erstes Design für numerische Strömungsanalysen (Computational Fluid Dynamics, CFD) zu erstellen, die die Formeln des VTT erwartungsgemäß bestätigten und zeigten, dass die Lösung funktioniert. „CFD und insbesondere 3D-CFD ist zeitaufwändig, denn die Verarbeitung eines einzigen Modells kann bis zu einem Tag dauern. Man muss schon weit gekommen sein, bevor man es macht. Wir waren dann in der Lage, die Lastdaten für die genaue Dimensionierung der tragenden Struktur, zum Beispiel des Haupttrads, der Schaufelmotoren und Lager, zu extrahieren“, so Peljo.

Erst nach den CFD-Analysen begann das Team wirklich darüber nachzudenken, wie man die Funktion des Konzepts in der Realität umsetzen könnte. Da sie selbst nur wenig Erfahrung mit

01 Veli-Pekka Peljo spricht leidenschaftlich über die Arbeit von ABB an fortschrittlichen Schiffsantriebskonzepten.



Fatima Choaïbi
ABB Marine & Ports
Helsinki, Finland

fatima.choaibi@
fi.abb.com



Roderick Craig
Externer Autor

Steuerungssoftwarelösungen besaßen, stellten Peljo und seine Mitstreiter Produktmanagerin Mirva Nevalainen und Technologiemanager Jukka Varis das Konzept Bin Liu, seines Zeichens Senior Principal Scientist am ABB Corporate Research Center (CRC) im schwedischen Västerås, und seinem Team vor und fragten, ob man dort einen Prototyp im Modellmaßstab erstellen könnte. „Das Vorprogrammieren der Bewegung und des Anstellwinkels der Schaufeln war eine der größten Herausforderungen, doch als weltweit führende Kräfte auf dem Gebiet der Robotik – sie sind die Experten hinter den kollaborativen Robotern der ABB YuMi®-Familie – waren sie dazu durchaus in der Lage.“

Im Jahr 2016 begannen die ABB-Teams, an einem Projekt für eine neue zyklonale Antriebstechnologie zusammenzuarbeiten, das zum Bau eines Prototyps und eines ersten Demonstrationschiffs im Modellmaßstab führte, das auf dem Mälaren, einem See bei Västerås, getestet wurde.

Ein entscheidender Moment

Der Prototyp wurde im Modellbecken des VTT im finnischen Espoo hydrodynamisch getestet. Anschließend folgten Freifahrtversuche auf dem See in Schweden zur Verifizierung der Antriebs- und Manövrierfähigkeit, wobei der Antrieb wie vorhergesagt funktionierte. „Wir haben alles gemacht, was man auch bei Probefahrten im großen Maßstab tun würde. Das war ein fantastischer Meilenstein und hat unsere ganze harte Arbeit bestätigt. Da wussten wir, dass wir das Konzept, das wir ursprünglich „Foilwheel“ genannt haben, als weltweit ersten digitalen Propeller mit herausragender Effizienz herausbringen können“, ergänzt Peljo.

Allen, die sich fragen, warum das nicht schon jemand vorher gemacht hat, antwortet Peljo: „Das ist nicht so einfach. ABB Dynafin sieht vielleicht einigen mechanischen Lösungen ähnlich, doch das Innenleben ist komplett anders. Hauptsächlich sind das die Schaufelmotoren und der gesamte Antriebsstrang. Statt mechanischer Hebel, die durch hydraulische Servoaktuatoren betätigt werden, haben wir Elektromotoren mit geringer Drehzahl und hohem Drehmoment, die wir an die Propellerschaukeln anpassen können.“

Laut Peljo werden die endgültigen ABB Dynafin-Einheiten in einer Standardausführung, aber je nach Leistungsfaktor mit unterschiedlichen Propellerdurchmessern angeboten, was die Lieferzeit verkürzt. „Man wählt dann einfach die richtige Schaufellänge passend zum Tiefgang des Schiffs. Es kann sein, dass wir nur zwei Längen anbieten, aber unser Ziel ist es, die Schaufeln über der Grundlinie zu halten.“



02

Die Dauerfestigkeit der Schaufeln ist ein kritischer Aspekt, weshalb ein äußerst sorgfältiges Design erforderlich ist, um die notwendige Lebensdauer mit hoher Zuverlässigkeit zu gewährleisten. „Wir denken zurzeit an martensitischen Edelstahl, doch angesichts bestimmter fertigungsbedingter Restriktionen müssen wir für die längeren Schaufeln an leistungsstärkeren Einheiten möglicherweise Verbundwerkstoffe verwenden. Außerdem arbeiten wir an Details wie Dichtungslösungen, um die Betriebskosten zu optimieren.“

Zielmärkte

Im Hinblick auf die Frage, für welche Schiffe sich das Konzept am besten eignet, kratzt man laut Peljo noch an der Oberfläche. „Wir orientieren uns an den Kundenanforderungen für unterschiedliche Segmente, aber es gibt viele Möglichkeiten. Transitschiffe profitieren am meisten, und je höher die Geschwindigkeit, desto größer der Nutzen. Doch wir betrachten momentan vornehmlich den Bereich von 12 bis 20 Knoten. Mit ABB Dynafin hat man viele verschiedene Auslegungspunkte in einem einzigen Propeller: einen für maximale Probefahrtgeschwindigkeit, einen für verbrauchsoptimierte Geschwindigkeit, einen für eine sichere Rückkehr in den Hafen mit sechs Knoten, einen für die dynamische Positionierung usw. Das System ist sehr vielseitig und kann sich für alle möglichen Schiffstypen eignen.“

Was die Leistung angeht, plant ABB vier Größen zwischen 1 MW und 4 MW. Bei vier installierten Einheiten ergäbe dies eine Antriebsleistung von 16 MW. „Auf dem Markt besteht ein Interesse an noch höheren Leistungen, weswegen wir uns auch mit Einheiten mit 5 MW und mehr befassen“, ergänzt Peljo.



—
02 Auf Schiffen mit Segelantrieb oder auf hybriden Schiffen mit Segelunterstützung kann ABB Dynafin auch nur im Rudermodus betrieben werden.

Dank der integrierten Verstellpropeller-Funktion (Controllable Pitch Propeller, CPP) verfügt ABB Dynafin über die notwendigen Voraussetzungen zur dynamischen Positionierung für Offshore-Schiffe. „Das System kann die Schubrichtung binnen Sekunden um 180 Grad ändern und ermöglicht so eine sehr schnelle Reaktionszeit bei Kursänderungen. Außerdem befassen wir uns damit, wie ABB Ability™ Marine Pilot Control die Fähigkeiten von ABB Dynafin für verschiedene Betriebsarten und Autopilot-Konfigurationen nutzen kann, um einen ferngesteuerten und letztendlich autonomen Betrieb zu ermöglichen.“

Auch gibt es Fälle, in denen vibrationsarme Schiffe gefragt sind. „Die Drehzahl ist bei voller Kraft recht gering, aber die Amplitude ist höher. Die Druckimpulse eines Vertikalpropellers wirken sich nicht zu sehr auf den Rumpf aus, aber wir können die Schaufeltrajektorien noch weiter optimieren, um Vibrationen und Geräusche für einen geräuscharmen Betrieb nahezu vollständig zu beseitigen.“

Darüber hinaus zeichnet sich ABB Dynafin durch weitere nützliche Funktionen wie etwa eine Energierückgewinnung beim Abbremsen des Schiffs aus – ähnlich wie bei einem selbstladenden Hybridauto. „Man kann die Bordbatterien einfach durch die Bewegung des Wassers laden, das die Schaufeln wie eine Windmühle bewegt. Außerdem haben wir den sogenannten Rudermodus, bei dem der Hauptantrieb deaktiviert ist – das heißt sich das Hauptrad nicht dreht – und alle Schaufeln zusammenarbeiten, um zum Beispiel ein segelunterstütztes Schiff zu steuern →02.“

Umgang mit Unsicherheit

Laut Peljo ist die Entwicklung eines neuen Konzepts von Grund auf stets mit Unsicherheit verbunden. „Um dies zu bewältigen, muss der menschliche Faktor konstant sein. Wichtig

sind eine kreative, offene Denkweise und eine starke Fokussierung auf das Ziel, auch wenn die Anforderungen vage sind. Innovation ist nicht nur Glück und spontane Inspiration. Wir hatten zum Beispiel viele anstrengende Konzeptrunden. Zurückblickend hätten wir natürlich schneller vorankommen können, aber wir mussten auch an vielen parallelen Projekten arbeiten“, ergänzt er.

Eine bewährte F&E-Methodik ist ebenfalls entscheidend. „Wir nutzen die Entwurfsspirale für den Schiffbau, bei der man sich von außen von den Missionsanforderungen über die allgemeine Konzeptanalyse schrittweise nach innen vorarbeitet und dabei das Design immer weiter verfeinert. Man darf sich nicht zu früh in Details verlieren. Ein klarer Business Case hält einen ebenfalls davon ab, sich in theoretischen Feinheiten zu verzetteln, die Zeit verschwenden.“

Großes Lob an die Partner

„Wir hätten das auf keinen Fall allein schaffen können“, betont Peljo. „ABB Dynafin ist das Ergebnis gebündelter Expertise in Mathematik, Hydrodynamik, Elektrotechnik und Steuerungstechnik, und wir hatten großartige Partner an der Aalto-Universität, am VTT und bei ABB CRC. Die Mischung aus den richtigen Leuten, verbunden mit der ABB-eigenen starken Kultur der Innovation und Entschlossenheit, es stets besser zu machen, war entscheidend für den Erfolg.“

Was seine persönliche Motivation angeht, liebt Peljo als gelernter Maschinenbauingenieur die F&E-Arbeit, da kein Tag wie der andere ist. „Ich würde mich zu Tode langweilen, wenn ich tagein, tagaus dasselbe tun müsste. Das Projekt war eine einmalige Gelegenheit, und es ist fantastisch, dass wir so weit gekommen sind, ABB Dynafin in die Realität umzusetzen.“

„Die hohen Kosten für neue grüne Kraftstoffe und die wachsende Zahl vollelektrischer Schiffe machen den Business Case noch attraktiver“, so Peljo. „Der Beitrag zum grünen Wandel gibt dem eine zusätzliche Bedeutung, und ich glaube, es ist ein großartiger Zeitpunkt für eine außergewöhnliche neue Technologie. Wir arbeiten hart an den Details, und ich kann es kaum erwarten, den ersten Dynafin-Antrieb live auf einem echten Schiff zu sehen.“ •


Literaturhinweise

[1] Aalto University: „What is PdP?“ Verfügbar unter: <https://pdp.fi/> (abgerufen am 04.04.2024).

[2] VTT: „Case: ABB Marine & Ports – Ground-breaking propulsion concept reduces fuel consumption by up to 22 %“. Verfügbar unter: <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/case-abb-marine-dynafin-propulsion> (abgerufen am 04.04.2024).

Diesen Artikel teilen





—
TECHNOLOGIEN ZUR DEKARBONISIERUNG
DES BERGBAUS IM VERGLEICH

Materialtransport unter Strom

Der Bergbausektor ist für bis zu sieben Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich [1]. Vor diesem Hintergrund nutzt ABB die Verfahren und Lösungen ihres eMine™-Portfolios, um die vielen Fragen zu lösen, die sich rund um die Dekarbonisierung des Materialtransports im Bergbau und im Hinblick auf die dazugehörige elektrische Infrastruktur unter Berücksichtigung von Muldenkippern, Be- und Entladestellen, Batterieladestationen und Batterien stellen.



Dieselbetriebene Transportsysteme in Bergwerken tragen maßgeblich zu den CO₂-Emissionen der Branche bei.

Elektrifizierung reduziert die Anforderungen an die Bewetterung und verbessert die Arbeitsbedingungen.



Dieser Artikel beleuchtet verschiedene Ansätze zur Elektrifizierung.

Einer der Hauptverursacher von CO₂-Emissionen im Bergbau ist der Materialtransport, der nach wie vor stark von dieselbetriebenen Systemen abhängig ist. Diese machen nicht nur einen erheblichen Teil der gesamten CO₂-Emissionen der Bergbauindustrie aus [2], sondern sorgen auch für erhöhte Anforderungen an die Bewetterung in Untertagebergwerken, die wiederum bis zu 70 Prozent der Gesamtbetriebskosten ausmachen kann [3]. Hier bieten alternative Lösungen wie Oberleitungssysteme (Trolley-Assist-Systeme), batteriebetriebene elektrische Transportfahrzeuge, elektrische Bandförderanlagen und Fördersysteme vielversprechende Möglichkeiten, um den Weg zur Klimaneutralität zu erleichtern.

Angesichts des enormen Umfangs dieser Transformation ist die Simulation ein unverzichtbares Werkzeug, wenn es darum geht, die Vorteile und Herausforderungen zu verstehen, die mit der Einführung solcher alternativen Technologien verbunden sind. ABB hat Simulationstools genutzt, um Fragen rund um die Dekarbonisierung des Materialtransports mit Muldenkippern und die damit verbundenen Auswirkungen auf die elektrische Infrastruktur zu untersuchen. Die verwendeten Tools, die auf einem Framework zur ereignisorientierten Simulation (DES, Discrete Event Simulation) basieren, fokussieren auf die Modellierung relevanter Veränderungen in internen Zuständen. Hierbei wird die Leistung von Transportmitteln und der dazugehörigen elektrischen Infrastrukturen, wie etwa von stationären

(z.B. eMine™ FastCharge) und dynamischen Energieübertragungssystemen (z.B. eMine™ Trolley-Systeme), als Beispiel für solche Zustände hervorgehoben →01. Die Neuberechnung und Aufzeichnung von Parametern wird dabei durch Ereignisse ausgelöst. Dies können zum Beispiel Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen betrachteten Systemen in einem simulierten Szenario sein. Zu den beteiligten Anlagen in einer Bergbauumgebung gehören Fahrzeuge, Be- und Entladestellen für Material, Batterieladestationen und Batterien.

Die Tools bieten umfangreiche Funktionen, die darauf ausgelegt sind, die Komplexität realer Bergbaustandorte abzubilden. Die grafische Bedienoberfläche erleichtert die Modellierung und den Vergleich verschiedener fahrzeug- und bandbasierter Transportmethoden. Fahrzeuge wie Muldenkipper werden auf Basis ihrer Antriebstechnologie modelliert, die von traditionellen Dieselmotoren bis hin zu diesel-elektrischen und batterieelektrischen Antrieben reicht, und es wird eine geeignete elektrische Infrastruktur zum stationären Laden bzw. zur dynamischen Stromversorgung definiert. Die Funktionalität zum Import von DXF-Dateien (Drawing Interchange Format, ein Format für den universellen Datenaustausch zwischen CAD-Anwendungen) ermöglicht die direkte Übertragung ganzer bestehender Grubenrisse in die Knoten und Kanten der gerichteten Graphen zur Modellierung des Wegenetzes. Eine integrierte

—
Francisco Canales Perez
Christoph Schlegel
Nic Beutler
Process Industries,
Business Line Mining
Baden, Schweiz

francisco.canales-
perez@ch.abb.com
christoph.schlegel@
ch.abb.com
nic.beutler@ch.abb.com

Vorgefertigter elektrischer Betriebsraum mit:



MS-Schaltanlagen



Gleichrichter



Dreiwicklungs-Gleichrichter-Transformator



Schutz- und Hilfs-systeme



Steuerungs- und Überwachungs-systeme



Digitale Services



HLK und Überdruck

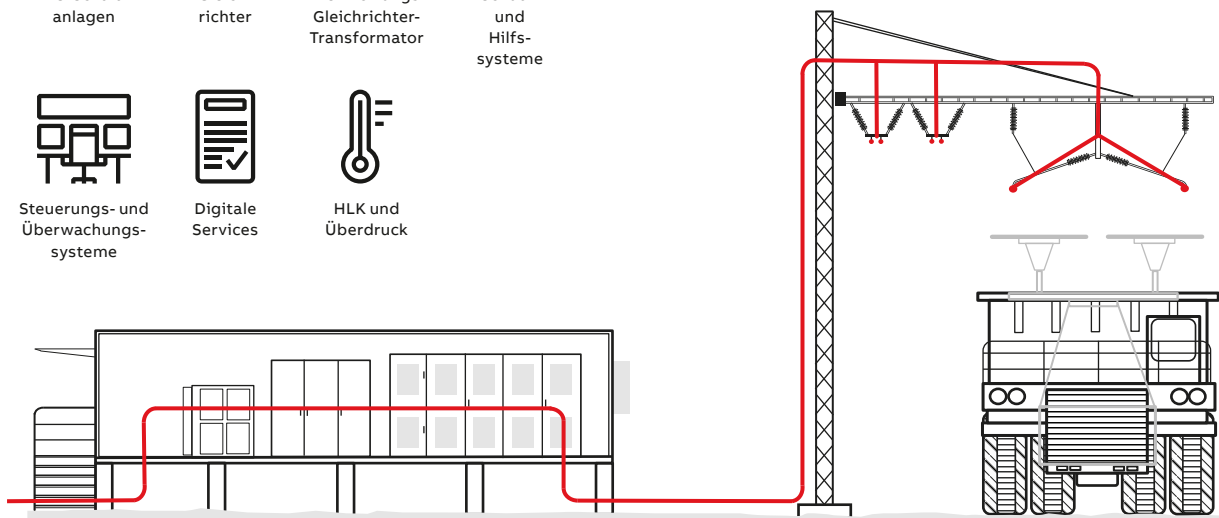
Oberleitungssystem, Masten und Fundamente



Masten und Fundamente



Oberleitungssystem



E-MINE™ TROLLEY SYSTEM

Das ABB eMine™ Trolley System umfasst eine Unterstation und ein Oberleitungssystem (OHL). Die Unterstation wandelt den Strom aus dem Verteilnetz der Mine

um (AC zu DC) und speist die OHL für die elektrischen Muldenkipper.

Verglichen mit dieselbetriebenen Kippnern ermöglicht ein Trolley-System

CO₂-Einsparungen von bis zu 90 Prozent bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktivität, da die Kipper die doppelte Geschwindigkeit erreichen.

—
Erfahren Sie, wie das ABB Trolley System die Transformation zu voll-elektrischen Bergwerken unterstützt.



— 01 Das ABB eMine™ Trolley System reduziert den Dieserverbrauch und die Emissionen drastisch.

— 02 Eigenschaften des bei der Simulation betrachteten Wegs.

— 03 Energieverbrauch in kWh pro Zyklus in Abhängigkeit von der Transportweglänge und dem Höhenunterschied.

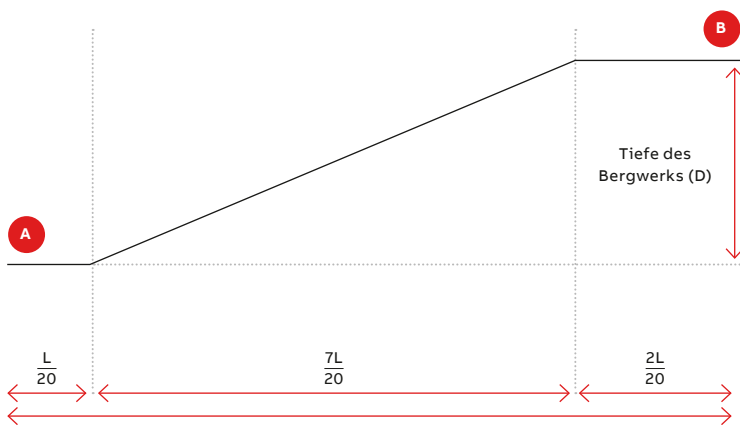
Funktion zur Szenarioplanung ermöglicht die Untersuchung verschiedener Transportszenarien innerhalb desselben Bergwerks. Die Szenarien können in mehrere Zeitfenster unterteilt werden, um die Betrachtung verschiedener Wegenetze, Graphen, elektrischer Infrastrukturen, Transportfahrzeuge und Produktivitätsparameter in den einzelnen Lebensdauerphasen eines Bergwerks zu ermöglichen.

Energieverbrauch pro Transportzyklus

Belade- und Transportzyklen in Bergwerken werden durch die wiederkehrenden Wege der Fahrzeuge bestimmt. Diese Transportzyklen verändern sich für gewöhnlich über die Lebensdauer eines Bergwerks. In der Studie wird der Energieverbrauch für einen Transportzyklus auf Basis der Entfernung und des Höhenunterschieds zwischen Start- und Zielort geschätzt. Die berechnete Energie bezieht sich auf einen Muldenkipper mit 290 t Nutzlast.

Die bei einem Transportzyklus verbrauchte Energie ist ein wichtiger Wert. Bei elektrifizierten Kippern ohne Verbrennungsmotoren ist das die Energie, die von einer elektrischen Infrastruktur bereitgestellt werden muss, um den Betrieb der Fahrzeuge sicherzustellen. Im Vergleich zu einem Dieseltank, der genügend Energie für eine ganze Schicht fasst, reicht die Energie von Batterien höchstens für einige Transportzyklen.

Die Autoren halten disruptive Entwicklungen in der Batteriezellentechnologie, die zu einer signifikanten Steigerung der Energie- bzw. Leistungsdichte führen, in absehbarer Zukunft für unwahrscheinlich. Folglich sollten die hier präsentierten Ergebnisse für die erste Generation batteriebetriebener Muldenkipper gültig sein. Die bei der Simulation betrachteten Wege sind in →02 dargestellt: Die Kipper starten am Ort B, fahren zum Ort A, wo sie beladen werden, und kehren dann wieder zum Ort B zurück, um entladen zu werden. L entspricht der gesamten Fahrstrecke und D dem Höhenunterschied im beschriebenen Zyklus.



02 $\frac{1}{2} \times$ Transportweglänge (L)

Die in →03 dargestellten Werte entsprechen der Energie, die ein Kipper benötigt, um eine Wegstrecke mit unterschiedlicher Länge und Tiefe (L, D) zurückzulegen. Dabei wird die maximale Tiefe D für eine Länge L so festgelegt, dass die Neigung im mittleren Abschnitt des Wegprofils 12 Prozent nicht übersteigt. Das bedeutet, dass Abschnitte, in denen die Neigung diesen Maximalwert übersteigt, nicht in die Analyse einfließen. Typischerweise liegt die Neigung von Transportwegen im Tagebau nicht über 10 Prozent.

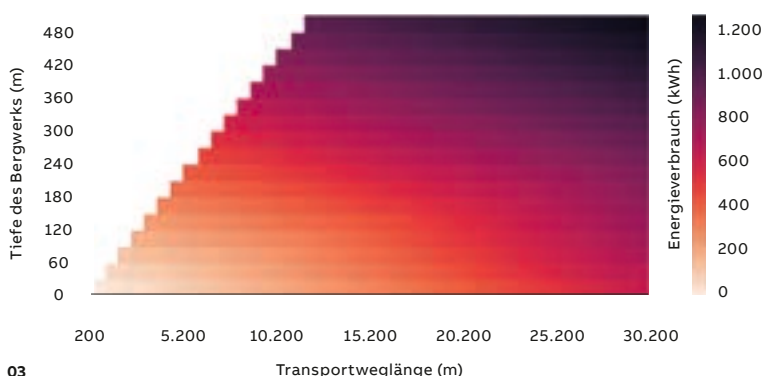
Drei Szenarien für Transportzyklen

Da jedes Bergwerk einzigartig ist, sollten für eine genaue Analyse des Energieverbrauchs in einem bestimmten Bergwerk Simulationen durchgeführt werden, die auf die spezifische Geografie und die besonderen Eigenschaften des Bergwerks zugeschnitten sind. Nichtsdestotrotz ist es das Ziel dieser Untersuchung, allgemeine Erkenntnisse auf der Grundlage repräsentativer Simulationen zu erlangen, die sich universell auf verschiedene Standorte übertragen lassen. →04 zeigt eine Zusammenfassung von drei typischen Kombinationen aus Längen und Tiefen, die gewählt wurden, um den Transport in generischen Bergwerkstypen näherungsweise abzubilden.

Vier Antriebssysteme

1. Diesel

Obwohl Diesel noch immer die Hauptantriebstechnologie im Bergbau darstellt, ist die



03

—
04 Mit den Simulationstools simulierte repräsentative Szenarien*.

—
05 Dieselkraftstoff, der erforderlich ist, um unbeladen zur Materialquelle und beladen zurück zum Zielort zu fahren – ermittelt für die drei Szenarien.

—
06 Durch die zusätzliche Nutzung von Strom erzielte Reduktion des Dieserverbrauchs und der CO₂-Emissionen.

—
07 Durch die Nutzung eines Trolley-Systems erzielte Reduktion der Zykluszeit.

Transformation zu elektrischen Antriebssystemen in vollem Gange. Um einen Referenzwert für den Vergleich der heute möglichen CO₂-Reduktionen zu erhalten, wurde für die drei Szenarien der Dieselkraftstoff berechnet, der erforderlich ist, um die Strecke L/2 einmal unbeladen zur Materialquelle und einmal beladen zum Zielort zurückzulegen →05. Dabei wurde von einem Umrechnungsfaktor von 2,66 kg CO₂/Liter ausgegangen.

2. Deselektrischer Antrieb ergänzt durch Trolley-System

Bei einer der heute für Muldenkipper genutzten Methoden zur dynamischen Energieübertrag werden dieselektrische Kipper über einen Stromabnehmer (Pantografen) mit Strom

versorgt. Dazu ist ein Oberleitungssystem mit einer Einspeisestation erforderlich, das vorzugsweise an ausgewählten Abschnitten des Transportwegs mit starker Steigung installiert wird. Ist der Kipper mit der Oberleitung verbunden, wird der Antriebsstrang direkt von der elektrischen Infrastruktur gespeist, und der Verbrennungsmotor kann zur Reduzierung des Dieserverbrauchs in den Leerlauf schalten.

→06 zeigt den Dieserverbrauch und die CO₂-Emissionen, die mit den ABB eMine™-Simulationstools für die repräsentativen Zyklen ermittelt wurden. Dabei wurde davon ausgegangen, dass über die gesamte Steigung des Fahrwegs (0,35 L) eine Oberleitung installiert ist. →07 zeigt zudem, dass der Trolley-gespeiste Antrieb eine erhebliche Reduktion der Zykluszeit ermöglicht.

→08 zeigt die Beziehung zwischen dem Dieserverbrauch (in Litern) und dem Anteil der Steigungsstrecke mit Oberleitung. Dargestellt sind drei typische simulierte Szenarien mit unterschiedlicher Bergwerkstiefe und Weglänge. Deutlich zu erkennen ist die mögliche Reduktion im Kraftstoffverbrauch bei zunehmender Speisung über das Trolley-System.

	Bergwerkstyp, Beispiel	Tiefe D (m)	Transportweglänge L (m)	Energiebedarf für Transportzyklus (kWh)*
Szenario 1	Eisenerz	150	5.000	~ 336
Szenario 2	Kobalt	200	10.000	~ 492
Szenario 3	Kupfer	500	15.000	~ 1.043

04 *Da die Scope 1- und Scope 2-Emissionen der verbrauchten elektrischen Energie stark vom lokalen Energiemix abhängen, wurde für diese Studie ein Wert von null angenommen.

	Tiefe D (m)	Transportweglänge L (m)	Dieserverbrauch pro Zyklus (l)	CO ₂ -Emissionen (kg)
Szenario 1	150	5.000	105	279
Szenario 2	200	10.000	154	407
Szenario 3	500	15.000	318	840

05

	Tiefe D (m)	Transportweglänge L (m)	Dieserverbrauch pro Zyklus (l)	CO ₂ -Emissionen (kg), nur Diesel
Szenario 1	150	5.000	16	41
Szenario 2	200	10.000	26	67
Szenario 3	500	15.000	34	91

06

	Tiefe D (m)	Transportweglänge L (m)	Zykluszeit (min) Diesel	Zykluszeit (min.) Deselelekt. Trolley
Szenario 1	150	5.000	15,2	9,6
Szenario 2	200	10.000	22,5	13,9
Szenario 3	500	15.000	42,3	23,9

07

3. Batterieelektrisches Trolley-System mit dynamischem Laden

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der batterieelektrischen Trolley-Antriebstechnologie, einem innovativen Ansatz, bei dem die Fahrzeugbatterie während der Fahrt geladen wird. Hierbei wird die Energie aus der Oberleitung genutzt, um das Fahrzeug anzutreiben und gleichzeitig seine Batterie zu laden, sodass gänzlich auf einen Dieselmotor verzichtet werden kann. Es ist jedoch anzumerken, dass diese Technologie noch nicht vollständig etabliert ist, sich aber dank aktiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit und entsprechender Pilotprojekte rasch entwickelt [4].

Zur Analyse der potenziellen Vorteile dieser Technologie im Hinblick auf die Batterienutzung zeigt →09 den Energiehaushalt der Batterie bei maximaler Ladeleistung in Abhängigkeit vom Anteil der Steigungsstrecke mit Oberleitung, wobei jede Kurve eine andere simulierte Tiefe und Länge repräsentiert. Dies soll eine Beurteilung der betrieblichen Anforderungen für einen vorgesehenen Transportzyklus ermöglichen, wobei zu unterscheiden ist zwischen:

- Abschnitten ohne Trolley-Infrastruktur, bei denen ein Muldenkipper ausschließlich auf stationäre Ladetechnologien angewiesen ist, um die erforderliche Energie für den Zyklus zu decken.

—
08 Dieserverbrauch in Litern pro Transportzyklus in Abhängigkeit vom Anteil der Steigung mit Oberleitung.

—
09 Energiehaushalt über einen simulierten Transportzyklus bei maximaler Ladeleistung der Batterie während des Trolley-Betriebs.

—
10 Produktivität in Tonnen transportiertem Material pro Tag in Abhängigkeit von der installierten Ladeleistung.

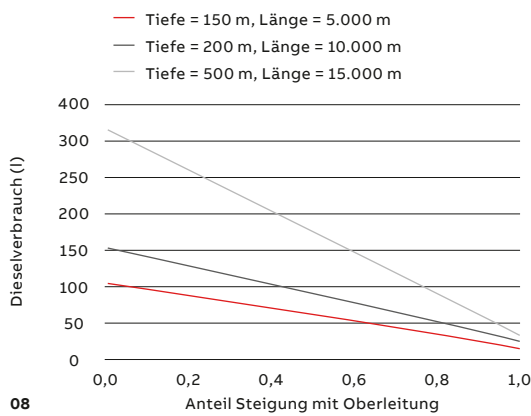
- Abschnitten mit teilweiser Trolley-Abdeckung, aber einem restlichen Energiedefizit. In solchen Fällen benötigt der Kipper eine Kombination aus Laden über die Oberleitung während der Fahrt und zusätzlichem stationärem Laden, um den Gesamtenergiebedarf für den Transportzyklus zu decken.
- Abschnitten mit ausreichender Trolley-Abdeckung, die ein dynamisches Nachladen der gesamten für den Transportzyklus benötigten Energie erlaubt.

Bei den Simulationen wird zudem davon ausgegangen, dass der Kipper mit einer 1,5-MWh-Batterie ausgestattet ist und eine Rekuperation der Bremsenergie bei Bergabfahrten erfolgt.

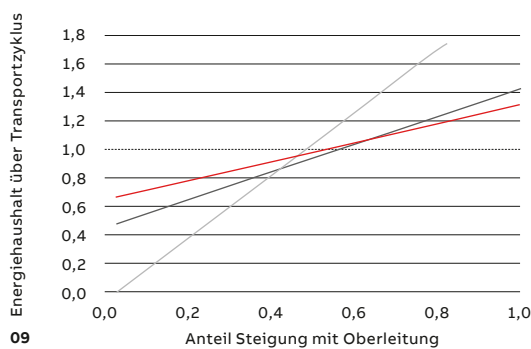
4. Batterieelektrisches System mit stationärem Laden

Stationäres Laden spielt eine zentrale Rolle bei der Dekarbonisierung von Bergbau-Muldenkippern. Dazu gehört die strategische Platzierung temporär fester Stationen entlang der Transportwege, die ein effizientes Aufladen oder Austauschen der Fahrzeugbatterien ermöglichen. Idealerweise sind die Stopps so geplant, dass die Stillstandzeit minimiert wird. Der Einsatz dieser bei Pkw und Bussen weit verbreiteten Technologie im Bergbau – insbesondere im Tagebau – ist mit speziellen Herausforderungen hinsichtlich der Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit verbun-

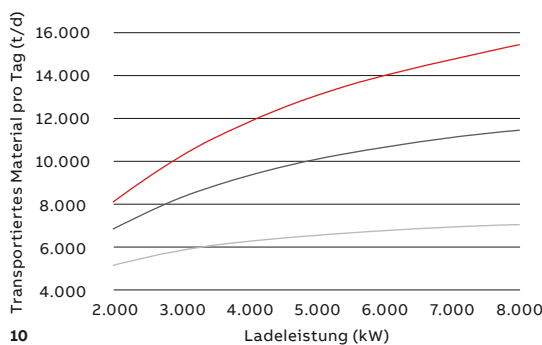
Die dieselektrische Technologie ermöglicht eine Reduktion des Dieserverbrauchs und der CO₂-Emissionen.



08



09



10

den. Die größte Herausforderung ergibt sich aus dem erheblichen Energiebedarf zum Transport des Materials aus der Grube. So müssen die Batterien unter den gegebenen Umständen in der Lage sein, die gesamte Energie zu speichern, die notwendig ist, um die Entfernung und den Höhenunterschied zwischen zwei Ladestationen zu überbrücken. Geht man von einer Ladestation entlang des Transportwegs aus, bedeutet dies, dass die Reichweite so groß sein muss, dass ein Kipper die Entfernung von und zu den Materialumschlag- und Ladepunkten sicher zurücklegen kann.

→10 zeigt den Einfluss des stationären Ladens auf die Produktivität gemessen in Tonnen transportiertem Material pro Tag. Ausgehend von 21 täglichen Betriebsstunden und 290 t transportiertem Material pro Zyklus ist hier die simulierte Produktivität in Abhängigkeit von der Ladeleistung einer simulierten stationären Ladestation für einen Muldenkipper mit einer 1,5-MWh-Batterie dargestellt. Auch hier wird die Bremsenergie rekuperiert, um die Batterie bei der Bergabfahrt zu laden.

Untersuchung von Nutzlastklassen

Während im vorherigen Abschnitt jeweils ein Kipper mit einer Nutzlast von 290 t betrachtet wurde, soll im Folgenden die Auswirkung der Nutzlast auf den Energieverbrauch pro Transportzyklus analysiert werden. Dabei ist zu beachten, dass momentan für die verschiedenen betrachteten Nutzlasten vorwiegend nur

Nutzlast	Simulierter Bergwerkstyp	Tiefe D (m)	Transportweglänge L (m)	Energie pro Transportzyklus (ohne Rekuperation) (kWh)	Mögliche Rekuperationsenergie (kWh)
100 t	Eisenerz	150	5.000	118	24
	Kobalt	200	10.000	172	27
	Kupfer	500	15.000	352	84
240 t	Eisenerz	150	5.000	261	53
	Kobalt	200	10.000	381	60
	Kupfer	500	15.000	791	185
360 t	Eisenerz	150	5.000	387	74
	Kobalt	200	10.000	566	82
	Kupfer	500	15.000	1.163	256

11

11 Da die Fahrzeug-Eingangsparameter wie Zugkraftkurven, Stirnflächen oder spezifische Wirkungsgrade von der Konstruktion der Kippermodelle abhängen, entsprechen die gezeigten Ergebnisse ungefähren Werten für die jeweilige Nutzlastklasse.

Diesellösungen und dieselektrische Lösungen mit Trolley-Unterstützung kommerziell erhältlich sind.

Die dieselektrische Trolley-Technologie ermöglicht je nach installierter Oberleitungslänge eine lineare Reduktion des Dieserverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Tauscht man in einem nächsten Schritt den Dieselmotor gegen ein Batteriepaket, kann auch die Bremsenergie bei Bergabfahrten rekuperiert werden. Diese möglichen Rekuperationsgewinne sind in →11 dargestellt.

Wird diese Technologie mit einer Trolley-Infrastruktur kombiniert, die während der Fahrt Energie liefert, kann ein kontinuierlicher Betrieb erreicht werden, wenn die an die Batterie abgegebene Energie ausreicht, um die Wegabschnitte ohne Oberleitung zu überbrücken. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde festgestellt, dass mindestens etwa 60 Prozent der Steigungen auf dem Transportweg mit einem Trolley-System ausgestattet sein müssen, um einen durchgängigen Betrieb zu gewährleisten. Sofern es

die betrieblichen Gegebenheiten des Bergwerks zulassen, ist es in vielen Fällen wirtschaftlich, längere Trolley-Systeme zu installieren, da dies die zyklische Belastung der Batterien reduziert und somit ihre Lebensdauer verlängert und Kosten senkt.

Das stationäre Laden von elektrischen Muldenkippern erhöht zwar die Flexibilität, doch die Produktivität sinkt, da die Kipper zum Laden anhalten müssen. Dieses Problem lässt sich jedoch durch eine leistungsstärkere Ladeinfrastruktur verringern. Eine Herausforderung liegt

— ABB ist in der Lage, die Machbarkeit einer Lösung über die Lebensdauer eines Bergwerks hinweg zu beurteilen.

allerdings in der Tatsache, dass wichtige Parameter neuer Technologien wie etwa die Kosten und die Leistungsfähigkeit noch mit Unsicherheiten behaftet sind. Dies gilt besonders für Technologien von Muldenkippern, die noch nicht kommerzialisiert sind.

Alles in allem bleiben viele technologiebezogene Fragen wie die Wahl der Batterietechnologie, Batteriekapazität und Kippernutzlast, die Platzierung der Oberleitungen und der stationären Ladeinfrastruktur und die damit verbundene installierte Leistung, sowie Vorhersagen zur erforderlichen Anzahl von Kippern. Doch durch Berücksichtigung betrieblicher und infrastruktureller Randbedingungen bei der Anwendung der Simulationstools ist ABB in der Lage, diese Fragen in den frühen Phasen eines Projekts aus technologischer und ökonomischer Sicht zu beleuchten und die Machbarkeit einer Lösung über die Lebensdauer eines Bergwerks hinweg zu beurteilen. •

Literaturhinweise

[1] McKinsey: „Climate risk and decarbonization: What every mining CEO needs to know“. 28. Januar 2020. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights%20/climate-risk-and-decar->

bonization-what-every-mining-ceo-needs-to-know (abgerufen am 21.02.2024).

[2] McKinsey: „Creating the zero-carbon mine“. 29. Juni 2021. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/>

industries/metals-and-mining/our-insights/creating-the-zero-carbon-mine (abgerufen am 21.02.2024).

[3] N. Ertugrul et al.: „Status of mine electrification and future potentials“.

International Conference on Smart Grids and Energy Systems. Perth, Australien, 2020.

[4] International Mining: „Hitachi nears completion of all battery trolley large mining truck for test deployment to

Kansanshi“. 1. Dezember 2023. Verfügbar unter: <https://im-mining.com/2023/12/01/hitachi-nears-completion-of-all-battery-trolley-large-mining-truck-for-test-deployment-to-kansanshi/> (abgerufen am 21.02.2024).

Diesen Artikel teilen





Industriernetze integrieren erneuerbare und konventionelle Stromerzeugung.

Die Nutzung erneuerbarer Energien muss optimiert und die Stabilität der Betriebsabläufe gewährleistet werden.



ABB bietet Frameworks und Tools wie ABB eMine™, die bei Entscheidungen helfen.

KOMPLEXITÄT MEISTERN MIT AUTOMATISIERTER
NETZPLANUNG UND -ANALYSE

Grünere Netze

Boda Li
Chen Song
Theresa Loss
Matthias Biskoping
Jan Schlake
ABB Corporate Research
Mannheim, Deutschland

boda.li@de.abb.com
chen.song@de.abb.com
theresa.loss@de.abb.com
matthias.biskoping@de.abb.com
jan-christoph.schlake@de.abb.com

Maryam Sharifi
Fredrik Ljungberg
Stefan Thorburn
ABB Corporate Research
Västerås, Schweden

maryam.sharifi@se.abb.com
fredrik.ljungberg@se.abb.com
stefan.thorburn@se.abb.com

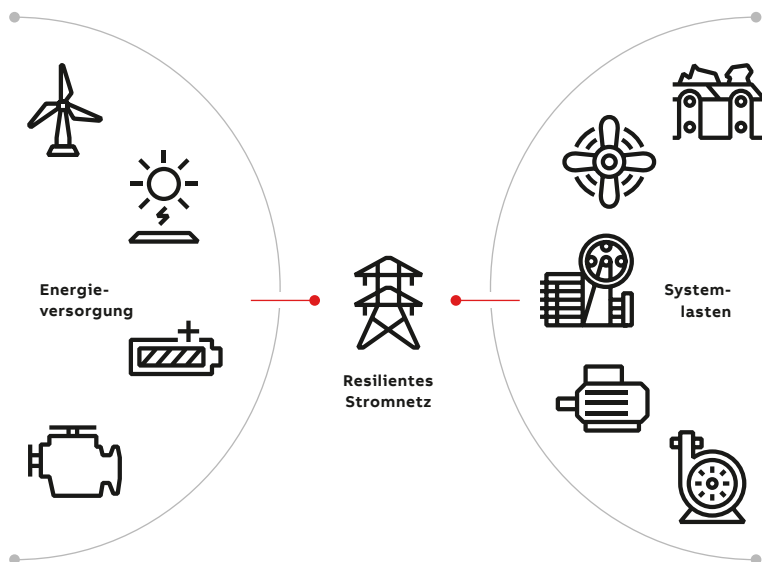
Nic Beutler
Process Industries,
Baden-Dättwil, Schweiz
nic.beutler@ch.abb.com

Wie können energieintensive Industrien wie der Bergbau ihre Nachhaltigkeitsziele erreichen? ABB entwickelt entsprechende Tools für die Planung von Industriernetzen, die eine automatische Analyse verschiedener Last- und Versorgungsszenarien sowie potenzieller Fehlerszenarien ermöglicht und so Ingenieure, Planer und Betreiber bei konstruktiven und betrieblichen Entscheidungen unterstützen.

ABB eMine™ – das Framework von ABB für die Elektrifizierung von Bergwerken – verknüpft detaillierte Verbrauchs-, Anlagen- und Betriebsmodelle mit historischen Daten zu erneuerbaren Energien und ermöglicht so eine effiziente Integration erneuerbarer Energiequellen in industrielle Umgebungen wie den Bergbau.

Für das Erreichen weltweiter Nachhaltigkeitsziele ist die Integration erneuerbarer Energien von entscheidender Bedeutung. Dies gilt besonders für energieintensive Branchen wie die Fertigung, den Bergbau, die Wasserstoffproduktion und Rechenzentren. Bei der Umstellung dieser Industrien auf erneuerbare Energien geht es nicht nur darum, deren hohen Energiebedarf zu decken, sondern auch darum, dies im Einklang mit weiteren Zielen wie der Senkung der CO₂-Emissionen und der Verbesserung der Nachhaltigkeit zu erreichen. Da die Verfügbarkeit erneuerbarer Energie an Industriestandorten erheblichen täglichen und saisonalen Schwankungen unterliegt, muss jede Installation auf die speziellen Bedürfnisse der jeweiligen Industrie zugeschnitten werden. Laut aktuellen Schätzungen wird der Anteil der erneuerbaren Energien an der weltweiten Stromerzeugung bis zum Jahr 2030 auf 45 bis 50 Prozent und bis zum Jahr 2050 auf 65 bis 85 Prozent steigen [1].

Doch die Integration erneuerbarer Energien in industrielle Stromnetze ist mit einzigartigen Herausforderungen verbunden, da jede Branche komplexe betriebliche Dynamiken aufweist, die zu diffizilen Lastveränderungen führen. Die Unbeständigkeit erneuerbarer Energien macht



01

01 Layout eines industriellen Stromnetzes basierend auf der Integration erneuerbarer Energien.

es noch komplizierter und erschwert die Planung und Analyse von Stromnetzen. Um den reibungslosen Betrieb an einem Industriestandort zu gewährleisten, muss stets ein Gleichgewicht zwischen den Energiequellen und dem Gesamtsystem der Verbraucher herrschen →01. In fast allen Fällen ist dazu das ganze Jahr über eine durchgängige Stromversorgung erforderlich. Zu den Herausforderungen, die die Unbeständigkeit an die Versorgung und die Lasten stellt, kommt eine wachsende Zahl von nichtlinearen Geräten, die sich aufgrund von Oberschwingungen und Leistungsfaktorproblemen negativ auf die Netzqualität auswirken. Eine schlechte Netzqualität hat wiederum Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit von Anlagen und kann zu Ausfällen, verminderter Produktion, Produktionsstopps und letztendlich zu finanziellen Verlusten führen.

Aus diesem Grund müssen Industrienetze in der Lage sein, einen Mix aus konventionellen und erneuerbaren Energiequellen effizient und zuverlässig zu unterstützen und verschiedene Betriebs-szenarien vom stationären Zustand bis hin zu transienten Zuständen zu bewältigen. Zudem sorgt der Mangel an Fachkräften in vielen Bereichen der Industrie in Verbindung mit der Notwendigkeit zur frühzeitigen Einbindung von Nutzeranforderungen in die Entwicklung industrieller Netze für einen verstärkten Bedarf an innovativen und effizienten Planungslösungen. Erschwerend hinzu kommen fehlende automatisierte Lösungen und ein Mangel an zugänglichen und nutzbaren Daten, was die Einbindung erneuerbarer Energien in die Systeme erheblich verzögert. Die daraus resultierenden längeren Integrationszeiträume können wiederum zu erheblichen zusätzlichen Kosten und Verzögerungen führen und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien erschweren.

Detaillierte Simulationsmodelle und fortschrittliches Framework

Eine entscheidende Voraussetzung zur Integration erneuerbarer Energien, Steigerung der betrieblichen Effizienz und Senkung der Kosten in heutigen industriellen Stromnetzen ist ein genaues Verständnis der diffizilen Verbrauchsdynamik der einzelnen Lasten. Zur besseren Unterstützung der Netzplanung und -analyse setzt ABB auf eine eingehende Analyse des Energieverbrauchs in industriellen Umgebungen durch genaue Modellierung verschiedener Anlagen. Dabei sind die Modelle in der Lage, die einzigartigen Profile von verschiedenen stationären Systemen wie Motoren und Ladestationen, aber auch von mobilen Betriebsmitteln wie Lastwagen abzubilden.

Die Auswirkungen dynamischer Veränderungen im Anlagenbetrieb auf die Modelle werden ebenfalls berücksichtigt. Dies geschieht mithilfe eines ausreichend generischen Modellierungs-Frameworks, das die Abbildung physikalischer Effekte über verschiedene Zeiträume hinweg ermöglicht. Zudem kommen in Industrieanlagen häufig Betriebsmittel verschiedener Hersteller zum Einsatz, und da Daten und Know-how ein wertvolles Gut darstellen, sollten die Einzelheiten der Modellimplementierung geheim bleiben. Um dies zu gewährleisten, nutzt ABB das standardisierte FMI-Konzept (Functional Mockup Interface), das die Kopplung von Modellen verschiedener Hersteller erlaubt. FMUs (Functional Mockup Units) sind Simulationsmodelldateien, die dem FMI-Standard entsprechen und zum Schutz der Modellintegrität und des geistigen Eigentums der Quellen ausschließlich kompilierten Code enthalten. Die Modelle und das Framework erleichtern die Erstellung von Lastprofilen für die Netzplanung und die nahtlose Integration in das Netzanalysemodul.

Automatisierte Planung von Industrienetzen

Angesichts dieser Herausforderungen hat ABB ein Framework zur automatisierten Planung und Analyse von Stromnetzen entwickelt, das speziell auf moderne industrielle Netze und die Integration erneuerbarer Energien zugeschnitten ist. Wie in →02 dargestellt, nutzt die Lösung fortschrittliche Methoden der Optimierungstheorie und eine genaue Analyse der Netzbedingungen, um den Planungsprozess zu rationalisieren, die betriebliche Effizienz zu verbessern und die mit der Integration erneuerbarer Energien verbundenen Kosten zu reduzieren.

Tatsächlich ist die Integration erneuerbarer Energien entscheidend für die Realisierung wirklich nachhaltiger Systeme. Doch wie viele Nutzer bereits festgestellt haben, sind häufig Nachrüstungen oder Modifizierungen der vorhandenen

OPTIMALE TECHNO-ÖKONOMISCHE PLANUNG & ANALYSE

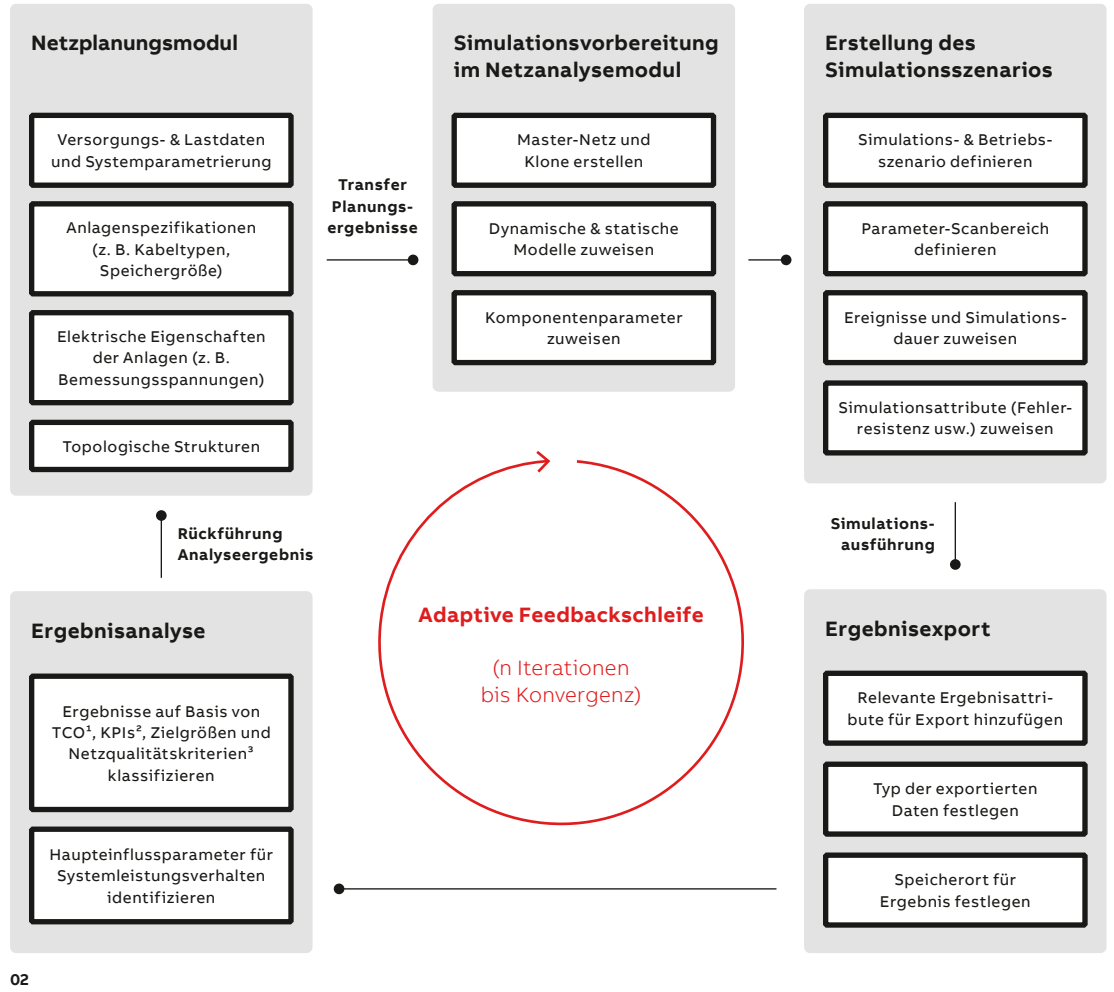
02 Workflow in einer optimierten techno-ökonomischen Netzplanungs- und Analyselösung.

03 Beispiel für die Anwendung des Netzanalyseansatzes auf die Bergbauindustrie.

¹ TCO: Total Cost of Ownership (Gesamtbetriebskosten)

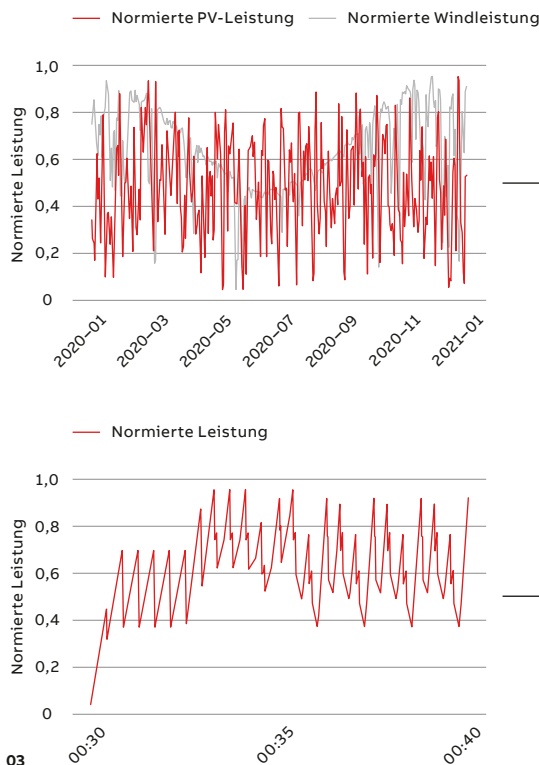
² KPI: Key Performance Indicator (Leistungskennzahl)

³ Netzqualitätskriterien: Beziehen sich auf die Standards und Richtlinien, die zur Evaluierung der Stabilität und Zuverlässigkeit der Stromversorgung herangezogen werden, und decken verschiedene Aspekte der Stromversorgung wie Spannungs-/Frequenzstabilität, Versorgungskontinuität, Oberschwingungen, Leistungsfaktor usw. ab. Eine hochwertige Stromversorgung ist unerlässlich für den reibungslosen Betrieb industrieller Anlagen und die Senkung des Risikos von Betriebsstörungen.

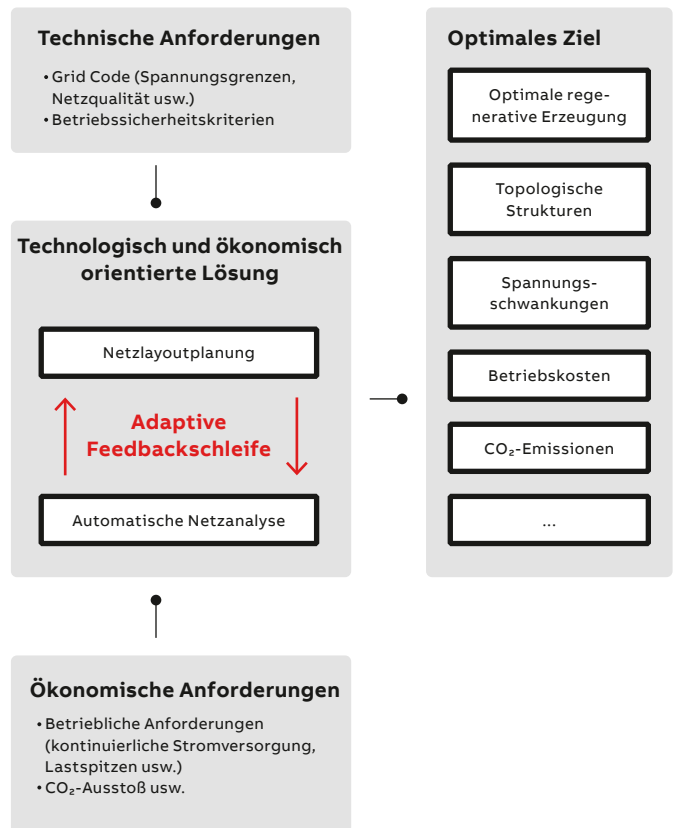


02

Historische Daten von erneuerbaren Energien



03



Netze erforderlich, um komplizierte Lastdynamiken und Schwankungen der erneuerbaren Energiequellen zu bewältigen. ABB begegnet dieser Herausforderung mit der Entwicklung einer umfangreichen Suite mit Lösungen zur automatisierten Netzplanung. Der innovative Ansatz beinhaltet eine adaptive Feedbackschleife, die durch dynamische Analyseergebnisse informiert wird und so den Prozess der Netzlayoutplanung verbessert.

Der Prozess beginnt mit der Erfassung der Daten und nutzerspezifischen Anforderungen einschließlich bestimmter Leistungskennzahlen wie Baukosten und CO₂-Emissionen. Diese werden zur Erstellung eines optimalen Netzlayouts verwendet, das Elemente wie Bemessungsspannungen und die Kabelwahl berücksichtigt. Die Erstellung des Layouts erfolgt durch das Lösen eines Optimierungsmodells, das Netzanschlussregeln (Grid Codes) und statische Margen für die Betriebssicherheit berücksichtigt. Die optimierten Netzplanungsergebnisse können anschließend von gängigen Softwarelösungen zur Stromnetzanalyse gelesen werden. Das System generiert automatisch verschiedene Simulations- und Betriebsszenarien zur Analyse des transienten Verhaltens, z. B. bei Schaltvorgängen und Fehlern. Darüber hinaus passt die Feedbackschleife das Design durch Iterationen auf der Grundlage der transienten Analyse an und verbessert so die Layout-Lösungen.

Die Methode bietet vielfältige und erhebliche Vorteile. Verglichen mit dem traditionellen Verfahren kann sie die Planungszeit drastisch reduzieren und somit zur Rationalisierung von Prozessen beitragen. Zudem gewährleistet die Kombination aus statischen und dynamischen transienten Analysen eine hohe Sicherheit und Genauigkeit und sorgt dafür, dass das Netzlayout diverse betriebliche Anforderungen unter verschiedenen Bedingungen erfüllt. Darüber hinaus stärkt die adaptive Feedbackschleife

die Zuverlässigkeit durch Erfüllung statischer und dynamischer Sicherheitskriterien. Vor allem aber ist die Methode wiederverwendbar und skalierbar, womit sie auf verschiedene Industrien wie Bergbau, Schiffbau und Häfen sowie Wasserstoffproduktionsanlagen anwendbar ist.

Optimierung mit automatischer transienter Analyse

Die heute vorwiegend genutzten Methodiken zur dynamischen Analyse von Stromnetzen erfordern zunächst die Erstellung eines Einliniendiagramms (SLD) innerhalb des jeweiligen Simulationstools, bevor Simulationen zur Untersuchung des Netzverhaltens durchgeführt werden können. Dieser Ansatz ist jedoch mit erheblichen Nachteilen verbunden, da das manuelle Einrichten des Netzes viel Zeit in Anspruch nimmt und – besonders bei vielen Netzkomponenten – fehleranfällig ist.

Solche Nachteile lassen sich durch einen ganzheitlichen Ansatz zur Durchführung von Netzanalysen vermeiden, der eine automatische Modellerstellung und Modifizierung der Netzkonfiguration beinhaltet. Das von ABB entwickelte Verfahren zur Stromnetzanalyse erfüllt dies und ermöglicht eine genaue Analyse der transienten Netzynamik. Zunächst werden die Ergebnisse der Netzlayoutplanung als Eingaben für die Simulation importiert. Alle relevanten Netzinformationen – einschließlich der Art und der elektrischen Eigenschaften aller Netzkomponenten sowie der topologischen Struktur – liegen in einer Datei in einem universellen Datenaustauschformat vor, das speziell für den bidirektionalen Datentransfer zwischen Anwendungen konzipiert wurde. Das Dateiformat wird sowohl vom Modul für die Netzlayoutplanung als auch vom Netzanalysemodul unterstützt, was einen nahtlosen Datentransfer ohne manuelle Einrichtung des Netzes ermöglicht. Dies ist besonders wichtig, wenn es um umfangreiche Netze oder Netze geht, die aufgrund von Modifikationen der Topologie strukturelle Veränderungen erfahren.



Mit dieser ersten Phase beginnt gleichzeitig der erste Schritt zur automatischen Netzanalyse. Nach dem Import der Netzattribute erfolgt die automatische Generierung eines an einem SLD ausgerichteten Master-Netzes. Netzklone, die durch Änderung von Komponentenparametern oder -einstellungen auf der Basis des Master-Netzes entstehen, werden mit verschiedenen dynamischen Anlagenmodellen zur Untersuchung des transienten Verhaltens erstellt. Zudem werden die erforderlichen dynamischen Simulationsergebnisse – zum Beispiel das Einschalten von Lasten und Fehlerereignisse – automatisch generiert und ausgeführt.

Die Analysen der Simulationsergebnisse werden anschließend wieder in das Netzplanungsmodul zurückgeführt, sodass gegebenenfalls ein überarbeitetes Design generiert werden kann. Dieser iterative Vorgang unterstützt eine effiziente und informierte Analyse der Netzstabilität.

Die automatisierte Schnittstelle öffnet die Tür zur Optimierung des Netzbetriebs und der Netzanalyse. Bei dem Prozess werden verschiedene Komponentenparameterbereiche und Betriebs-szenarien durchlaufen, um die Netzstabilität zu überprüfen und eine Zielgröße – zum Beispiel die Betriebskosten – zu optimieren.

Vor allem aber ermöglicht die techno-ökonomische Berechnungsfunktion des hier beschriebenen Simulationsmoduls die Untersuchung von Erweiterungsstrategien, Netzqualitätsaspekten und Versorgungsunterbrechungen, was wiederum Entscheidungskriterien für eine Optimierung der Ressourcenzuordnung und Profitabilität liefert.

Anwendung auf die Bergbaubranche

Der Bergbau und die Mineralaufbereitung sind ein ideales Anwendungsgebiet für die Lösung von ABB. Mit ihrem hohen Energiebedarf und dem erheblichen Widerstand, der ihr aufgrund ihres ökologischen Fußabdrucks entgegengebracht wird, ist die Branche gezwungen, dringend erneuerbare Energiequellen wie Wind und Sonne einzubinden, um ihren Treibhausgasausstoß zu reduzieren. Angesichts der komplexen und dynamischen Leistungsanforderungen der Bergbauequipment – besonders im Hinblick auf die beschleunigte Einführung von elektrischen Transportfahrzeugen und der dazugehörigen Infrastruktur für den stationären (Batterieladung) und dynamischen Energietransfer (Fahrzeugantrieb) – ist die Komplexität der elektrischen Netzplanung und -analyse in diesem Bereich nicht zu unterschätzen.

Doch das Fehlen effektiver automatisierter Lösungen erschwert eine reibungslose Integration erneuerbarer Energien und verlangsamt die Entwicklung in Richtung Nachhaltigkeit. ABB eMine™ begegnet dieser Herausforderung mit einem weiterentwickelten Ansatz zur Netzplanung für den Bergbau, der einen effizienten Umgang mit den spezifischen Komplexitäten ermöglicht und erheblich zu nachhaltigeren und effektiveren Praktiken beiträgt. Zudem können mithilfe der automatisierten Netzanalysemethode automatisch verschiedene Last-, Versorgungs- und potenzielle Fehlerereignisse im Netz analysiert werden, um Ingenieure, Planer und Betreiber bei konstruktiven und betrieblichen Entscheidungen zu unterstützen. Erreicht wird dies durch die Erstellung detaillierter Energieverbrauchs- und Simulationsmodelle für verschiedene Bergbau-Betriebsmittel. Durch Verknüpfung mit historischen Daten von erneuerbaren Energien → 03 wird eine effiziente Optimierung von Netzlösungen im Hinblick auf die Integration erneuerbarer Energiequellen ermöglicht.

Fortschrittliche Analysen dieser Art liefern optimale Lösungen für die Konfiguration von Bergbaunetzen. Diese durch Analysen der regenerativen Erzeugung und des Anlagen-Energieverbrauchs informierten Lösungen dienen als wichtige Eingaben für die anschließende Verifizierung des dynamischen Verhaltens und sichern somit die Systemzuverlässigkeit, ohne die Effizienz zu beeinträchtigen.

Darüber hinaus werden bei der Netzanalyse automatisch verschiedene Betriebsszenarien betrachtet, was Bergwerksbetreibern wichtige Erkenntnisse für informierte Entscheidungen liefert. Die Lösung kann zudem als Grundlage für die Entwicklung fortschrittlicher Funktionen für andere Bereiche des Bergbaus dienen – zum Beispiel zur optimalen Dimensionierung von Batteriespeichersystemen und Flotten von elektrischen Transportfahrzeugen.

Die auf der Prozessautomatisierungs- und Bergbaubauexpertise von ABB aufbauenden Lösungen zur Netzplanung und -analyse erweitern nicht nur das ABB eMine™-Portfolio und unterstützen informierte Investitionsentscheidungen, sie weisen auch den Weg zu einer effizienten Dekarbonisierung und einem wirtschaftlichen Betrieb im Bergbau. •

Literaturhinweis

[1] McKinsey & Co.: „Global Energy Perspective 2023“. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023> (abgerufen am 17.02.2024).



Diesen Artikel teilen



LEISTUNGSSTARKE ONLINE-FARBMESSUNG FÜR PAPIER

Farben nach Maß

Der ABB High Performance Color Measurement Sensor nutzt LED-Lichtquellen und ein Hochgeschwindigkeits-Spektrometer, um schnellere und zuverlässigere Messungen von farbmatischen Eigenschaften wie Farbe, Helligkeit, Opazität und Weißgrad zu ermöglichen und so die Qualität der Papier- und Kartonherstellung zu verbessern.



Eine konsistente Opazität und Weiße sind Qualitätsmerkmale bei der Papierherstellung.

Farbüberwachung ist ein integraler Bestandteil des Produktionsprozesses.



ABB hat ein hochpräzises Farbmesssystem mit LED-Licht und Farbsensoren entwickelt.

01 Eine strenge Kontrolle der Papierfarbe von einer Rolle zur nächsten ist entscheidend.

Farbe – was in diesem Kontext auch Helligkeit, Opazität und Weißgrad einschließt – ist ein Qualitätsmerkmal von Papier, das nur wenige bewusst wahrnehmen. Dennoch spielt es eine entscheidene Rolle bei der Herstellung und Nutzung von Papier. Zum Beispiel werden die Druckqualität, Lesbarkeit und ästhetische Wirkung von Produkten wesentlich von der Papierfarbe beeinflusst. So kann die Wiedererkennung einer Marke von der Farbe des verwendeten Papiers abhängen. Zudem ist die Farbe wichtig, wenn bestimmte Farbtöne für Sicherheitsdokumente wie Pässe oder Ausweise erforderlich sind →01.

Die Online-Überwachung der Papierfarbe während der Produktion ist daher entscheidend, wenn es darum geht, die Konsistenz und damit die Verkäuflichkeit des Produkts sicherzustellen. Die Online-Instrumentierung muss über die notwendigen Leistungseigenschaften verfügen, um einen stabilen Prozess mit minimalem Ausschuss zu gewährleisten. Dies gilt besonders bei Farbtonwechseln oder bei der schnellen Umstellung des Prozesses auf eine andere Papiersorte (schwerer, leichter usw.). Doch Papierherstellungsprozesse stellen aufgrund der verbreiteten Verwendung von optischen Aufhellern, sogenannten OBAs (Optical Brightening Agents), die im blauen Bereich des sichtbaren Spektrums fluoreszieren, um die scheinbare Weiße und Helligkeit zu erhöhen, eine einzigartige Herausforderung für die Farbmessung dar.



Michael O'Hora
ABB Pulp and Paper
Dundalk, Irland

michael.ohora@
ie.abb.com



Håkan Hjalmer
ABB Pulp and Paper
Dundalk, Irland

hakan.hjalmer@
ie.abb.com



02 Das ABB High Performance Color Measurement Sensormodul ist kompakter und leichter als bisherige Designs.

Elektrischer Standardanschluss für ABB-Sensoren

Senkrecht angeordnete Platine zur Steuerung der Sensorfunktionalität

Abgeführte Instrumentenluft hält das Sensorfenster frei von Kondensation und Staub.

LED-Lichtquelle, Fokussieroptik und Hochgeschwindigkeits-Gitterspektrometer

Der Sensor wird mit Instrumentenluft gespült und gekühlt. Ein Heizelement stabilisiert die Temperatur der Messkomponenten.

02

Blick in die Geschichte

Seit der Installation der ersten Online-Farbsensoren von ABB an Papiermaschinen Anfang der 1980er Jahre blickt ABB auf eine lange Geschichte der Innovation auf diesem Gebiet zurück. Bislang wurden von ABB und anderen Anbietern von Labor- und Online-Farbmesssystemen vornehmlich Gasentladungs- oder Wolfram-Halogen-Lampen verwendet. Obwohl diese Technologien bewährt und gut standardisiert sind, sind sie mit inhärenten Nachteilen hinsichtlich der Lebensdauer der Lampe, der spektralen Degradation und der Aufladezeit des Impulsgenerators (die die Messrate begrenzt), verbunden. Ein weiterer signifikanter Nachteil ist die Tatsache, dass das von der Lampe abgegebene Licht gefiltert werden muss, um den ultravioletten (UV-)Anteil zu steuern, sodass OBA-Effekte berücksichtigt werden können. Dazu muss ein UV-Filter physisch vor die Entladungslampe bewegt werden, was die Geschwindigkeit, mit der Messungen vorgenommen werden können, stark begrenzt.

Von Lampen zu LEDs

In den vergangenen Jahren hat sich die LED-Technologie besonders im Hinblick auf Eigenschaften wie Stabilität, Wiederholbarkeit, Spektralbereich und optische Leistung drastisch weiterentwickelt. Und da LEDs diskrete Emittoren sind, die mit verschiedenen wohldefinierten Spektralbereichen erhältlich sind, können einzelne Emittoren gewählt werden, die getrennt die ultravioletten und photoptischen Bereiche des Spektrums abdecken. In einem Farbsensor können LED-Emitterpaare dann so angesteuert werden, dass sie viele Male in der Sekunde abwechselnd Licht mit und ohne UV-Anteil liefern, um einen nahezu kontinuierlichen

Farbdatenstrom an einer sich bewegenden Papierbahn zu ermöglichen. So kann auf den oben beschriebenen bewegten UV-Filter verzichtet werden.

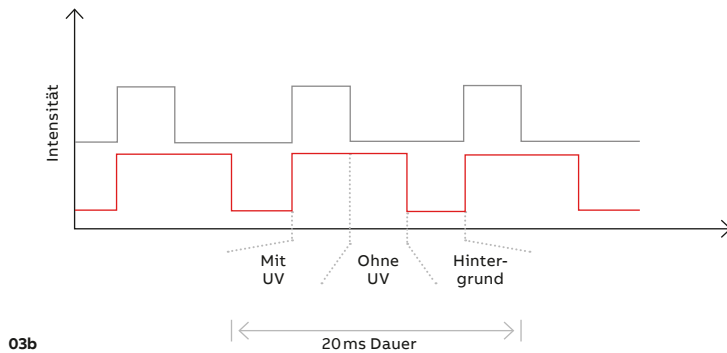
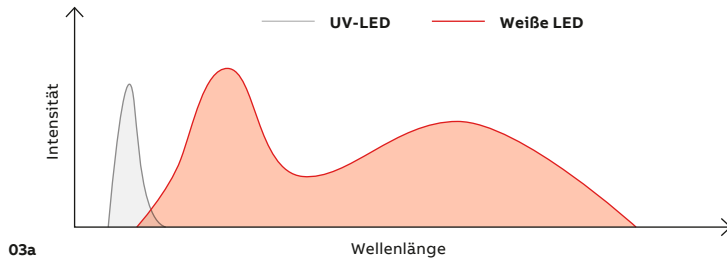
Der ABB High Performance Color Measurement Sensor folgt diesem Ansatz und nutzt moderne LED-Technologie in Verbindung mit einem Hochgeschwindigkeits-Spektrometer, das in der Lage ist, die farbmetrischen Eigenschaften von sich bewegendem Papier durch Scannen der Papierbahn bei der Herstellung zu messen →02. Der Sensor wurde speziell im Hinblick auf die vielen Herausforderungen konzipiert, die mit der Messung von fluoreszierendem und nicht fluoreszierendem Papier in einer industriellen Umgebung verbunden sind.

Sensordesign

Das ABB High Performance Color Measurement Sensormodul ist so konstruiert, dass es auf einer oder auf beiden Seiten der Papierbahn montiert werden kann – typischerweise an einem Messrahmen vom Typ ABB Network Platform, der den Sensor quer über die Papierbahn bewegt, um binnen Sekunden die farbmetrischen Eigenschaften zu messen. Auf der gegenüberliegenden Seite des Prozesses ist ein Modul mit Farbkacheln (Backing Tile Module, BTM) angeordnet. Mit dem BTM können farbige Kacheln in den optischen Pfad des Sensors gebracht werden, um zusätzliche farbmetrische und optische Eigenschaften wie etwa die Opazität zu messen (siehe unten).

Im Sensor werden eine weiße LED und eine blaue UV-LED so angesteuert, dass erst beide und dann nur die weiße LED leuchten, um eine Beleuchtung





03 Ansteuerung der LEDs.

03a Schema für Beleuchtung mit UV, ohne UV und Nullmessung.

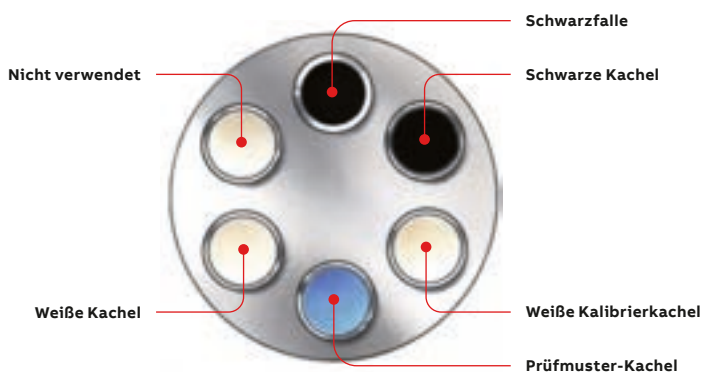
03b Spektraleigenschaften.

04 Das drehbare BTM positioniert verschiedene Kacheln gegenüber dem Sensormodul.

mit und ohne UV-Anteil zu ermöglichen. Optional ist ein dritter Modus möglich, bei dem beide LEDs ausgeschaltet sind. Dies ermöglicht Nullmessungen, um die intensiven Fremdlichtquellen, die im Umfeld von Papiermaschinen häufig zu finden sind, zu berücksichtigen →03.

Ein Toroidalspiegel erzeugt ein ungerichtetes ringförmiges Beleuchtungsmuster in einem Winkel von 45° auf dem Papier, das auf einen 10 mm großen Punkt gebündelt ist. Das senkrecht zum Papier gestreute und reflektierte Licht wird (entsprechend der bevorzugten 45°/0°-Messgeometrie) gesammelt und über einen Spiegel zum Spektrometer gelenkt.

Der Sensor liefert bis zu 50 vollständige Messwerte mit und ohne UV-Anteil pro Sekunde und bietet damit eine unübertroffene Farbmessauflösung in Längs- und Querrichtung der



04

Papiermaschine mit einer größeren Genauigkeit und geringeren kurzzeitigen Variabilität als traditionelle Verfahren. Die Abtastrate ist 10- bis 100-mal schneller als bei Gasentladungslampen, und die Daten werden kontinuierlich gemittelt, um bessere Messinformationen für Regelungsanwendungen bereitzustellen. Das bedeutet, dass jede Messung, die an den Host übermittelt wird, ein Durchschnitt von mehreren Hundert Messwerten ist, die über die Bahn ermittelt wurden. So wird besonders in einer Scananwendung das durch Feuchtigkeits- und Temperaturstreifen verursachte Farbprozessrauschen drastisch reduziert.

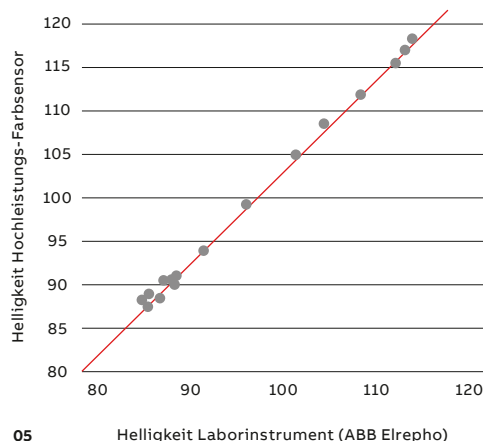
Bei häufigeren und kontinuierlichen Messungen profitieren Papierhersteller von einer höheren Präzision, was wiederum zu einer konsistenteren Farbe und einer besseren Endproduktqualität führt. Der Sensor bietet Herstellern die Möglichkeit, die Farbe präzise zu steuern und gleichzeitig den Ausschuss zu minimieren, die Farbtonkonsistenz zu verbessern und den Einsatz von teuren optischen Aufhellern, Farbstoffen und Pigmenten zu reduzieren.

Aufbau des Farbkachelmoduls (BTM)

Wie oben beschrieben, befindet sich das BTM auf der anderen Seite des Prozesses gegenüber dem Farbmessmodul. Es verfügt über einen patentierten Mechanismus, der dabei hilft, Sensorkalibrierungs-, Standardisierungs- und Prüfmuster Routinen zu automatisieren, um Bedieneingriffe zu minimieren und die langfristige Leistungsfähigkeit des Sensors sicherzustellen. Herzstück ist ein Karussell mit sechs Kacheln: Die weiße Kachel erleichtert die kontinuierliche Farbmessung, während eine schwarze Kachel dem Sensor die Durchführung von Farbberechnungen mit „unendlicher Dicke“ (eine von ABB patentierte Methode) ermöglicht →04. Um die langfristige Stabilität des Sensors zu gewährleisten, verfügt das BTM zudem über schwarze und weiße Kalibrierungskacheln, die dem Sensor dabei helfen, Veränderungen zu korrigieren, die sich auf die Genauigkeit auswirken können (wie zum Beispiel Staub- oder Schmutzablagerungen). Ohne die Papierbahn dienen die Kacheln zur Kalibrierung der Reflexionsmessung und zur Überprüfung der Sensorleistung gegen einen internen Standard. Dabei überprüft und bestätigt ein internes Prüfmuster automatisch die Leistungsfähigkeit des Sensors.

Das BTM verwendet einen Hochgeschwindigkeits-Luftstrom, der den Bernoulli-Effekt nutzt, um die Papierbahn zu stabilisieren. So wird Bahnflattern verhindert und eine kontaktlose Farbmessung ermöglicht.

05 Vergleich der ISO-Helligkeit (ISO 2470), gemessen mit dem ABB Elrepho Laborinstrument und dem High Performance Color Measurement Sensor anhand von fluoreszierenden Standardmustern.



05 Helligkeit Laborinstrument (ABB Elrepho)

Farbübereinstimmung

Der Sensor wurde umfassend getestet, um die Übereinstimmung sowohl mit Laborinstrumenten als auch vorhandenen Online-Systemen mit Gasentladungslampen sicherzustellen. Die Leistungsfähigkeit der Algorithmen für Messungen mit und ohne UV-Anteil wurde besonders gründlich untersucht, um genaue Messungen auf fluoreszierenden Materialien zu gewährleisten.

→05 zeigt Daten für eine Reihe von fluoreszierenden Kunststoffmustern, die mit dem Sensor und einem Laborinstrument (ein mithilfe von rückführbaren Standards des Herstellers kalibriertes Lorentzen & Wettre Elrepho) gemessen wurden. Dargestellt ist ein Vergleich der ISO-Helligkeit der Muster, gemessen mit und ohne UV-Anteil unter Verwendung der Normlichtart D65. Trotz der unterschiedlichen Lichtquellen (LED und Xenon) zeigen die Messungen mit dem LED-basierten Sensor bei beiden Beleuchtungsarten eine hervorragende Übereinstimmung.

Im Umgang mit Farbe wird häufig der $L^*a^*b^*$ -Farbraum verwendet. Dieser wurde 1976 von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE standardisiert und definiert Farbe anhand von drei Werten: L^* für die wahrgenommene Helligkeit und a^* und b^* für die vier Grundfarben des menschlichen Sehens Rot, Grün, Blau und Gelb. Die Messergebnisse vom Laborgerät und dem Farbsensor für alle drei Farbraumwerte liegen nahezu übereinander.

Dabei ist zu beachten, dass die Spektraleigenschaften der LEDs etwas von den Normlichtarten der CIE abweichen, weshalb LED-Geräte eine stärkere Korrektur erfordern als Geräte mit Gasentladungslampen.

Der High Performance Color Measurement Sensor wurde an mehreren Papiermaschinen erprobt, wo er eine sehr gute Übereinstimmung mit anderen Messinstrumenten zeigte.

Einfache Wartung und Aufrüstung

Der Sensor zeichnet sich durch eine leichte, kompakte, modulare Bauweise aus. Das Messmodul besitzt keine beweglichen Teile, was die Zuverlässigkeit erhöht und die Wartungs- und Lebenszykluskosten senkt. Die Lebensdauer der LED-Lichtquellen ist um ein Vielfaches länger als die von herkömmlichen Lampen, und wesentliche Teile können ohne Neukalibrierung ausgetauscht werden. Zudem wurde die Sicherheit verbessert, da Hochspannungs-Impulsgeneratoren und leistungsstarke Kondensatoren entfallen. Meldungen des Funktionszustands an den Host in Echtzeit sind ebenfalls möglich.

Der High Performance Color Measurement Sensor kann oberhalb, unterhalb oder auf beiden Seiten der Papierbahn eingesetzt werden und ist für eine schnelle und einfache Aufrüstung ausgelegt. So ist das Messmodul steckerkompatibel mit dem ABB Smart Color Sensor und vollständig kompatibel mit dem Smart BTM der vorherigen Generation. Der Sensor kann in Verbindung mit dem ABB Network Platform-Messrahmen und der Mehrgrößen-Farbbregelung (Multivariable Color Control) von ABB genutzt werden, um Ausschuss zu minimieren, Farbtonwechsel zu reduzieren und Anfahrzeiten zu verkürzen. Die neue Farbprofilfunktion des Sensors ermöglicht zudem die Optimierung von White-Top-, Leimungs- und Streichvorgängen.

Eine strahlende Zukunft

Mit zunehmender Verbesserung der Helligkeit und der Spektraleigenschaften von LEDs kann auch der Sensor weiter verbessert werden. Darüber hinaus erlaubt die hohe Messrate die Trennung der Signalinformationen nach Längs- und Querrichtung, was weitere Möglichkeiten zur besseren Farbbregelung eröffnet, die mit langsameren Geräten mit Gasentladungslampen nicht möglich sind.

Vorgesehen ist auch die Bereitstellung von Regelalgorithmen, die die unübertroffene Auflösung des Sensors vollumfänglich nutzen und Papierherstellern die Möglichkeit bieten, automatisch schnell und präzise auf einen gewünschten Farbton zu wechseln und eine hervorragende Konsistenz ihrer Produkte in puncto Farbe, Helligkeit, Fluoreszenz, Opazität und Weißgrad zu gewährleisten. •

Diesen Artikel teilen



LEISTUNGSSTARKE ONLINE-MESSUNG DER PAPIERFEUCHTE

Kontaktlos, schnell und präzise

Mit dem HPIR-R präsentiert ABB einen weiteren Hochgeschwindigkeits-Feuchte-sensor, der den erfolgreichen HPIR-T ergänzt. Der HPIR-R misst die Oberflächenfeuchtigkeit und -temperatur von Papier durch Infrarot-Spektroskopie in einigen der anspruchsvollsten und extremsten Umgebungen der Zellstoff- und Papierindustrie.



Feuchtemessung ist ein wichtiger Teil der Überwachung bei der Papierherstellung.

Die kontaktlose Messung der Oberflächenfeuchtigkeit erfolgt mithilfe von Infrarotlicht.



ABB bietet die schnellste Feuchtemessung auf dem Markt.



—
01 Der neue HPIR-R-Feuchtesensor von ABB beim Queren einer Papierbahn. Während des Scannens liefert der Sensor kontinuierliche Feuchtemessungen mit hoher Geschwindigkeit.

Die Geschichte der Papierherstellung reicht über 1.000 Jahre zurück, doch erst seit wenigen Jahrzehnten stehen effektive Werkzeuge zur Beurteilung der Papierqualität zur Verfügung. Noch in den 1920er Jahren waren Unternehmen auf die besonderen Fähigkeiten von Personen angewiesen, die die Gleichmäßigkeit des Papiers durch Ansehen, die Rollenhärte mit einem Stock und den Feuchtigkeitsgehalt anhand der statischen Elektrizität mit ihren Armhaaren prüften.

Der Feuchtigkeitsgehalt von Papier war schon früh Gegenstand der Innovation, und Ende der 1920er nutzte man Verfahren auf Grundlage der elektrischen Leitfähigkeit, um sie zu messen. Diese primitiven „Besser-als-Nichts“-Methoden lieferten zwar einen guten Eindruck von der Feuchtigkeit, aber boten nur wenig im Hinblick auf die Aufzeichnung von Trends, Bestimmung von Querprofilen oder Regelungsmöglichkeiten.

Bei der Papierherstellung dient die Feuchtigkeit als wichtige Messgröße, erstens, um den Feuchtigkeitsgehalt des Prozesses zu bestimmen, und zweitens, um in Verbindung mit einer Messung der Gesamtmasse das Trockengewicht und das Wassergewicht zu ermitteln. Das Trockengewicht repräsentiert das Gewicht (und somit die Kosten) der Einsatzstoffe; die Feuchtigkeit bzw. das Wassergewicht den Trockenaufwand (und die damit verbundenen Energiekosten), der erforderlich ist, um an entscheidenden Stellen im Papierherstellungsprozess einen optimalen Sollwert zu erreichen.



Michael O'Hora
ABB Pulp and Paper
Dundalk, Irland

michael.ohora@
ie.abb.com



Håkan Hjalmer
ABB Pulp and Paper
Dundalk, Irland

hakan.hjalmer@
ie.abb.com

Einmal geblinzelt, und schon verpasst

Wasser und die organischen Stoffe in Papierbahnen weisen starke Schwingungsabsorptionsbanden im infraroten (IR) Bereich des elektromagnetischen Spektrums auf. Daher wird die Feuchtigkeitskonzentration üblicherweise durch differenzielle Absorptionsmessungen benachbarter Feuchtigkeits- und Zellulose-Kombinationsbanden innerhalb des Nahinfrarotbereichs (1,7 bis 2,2 μm) geschätzt. Der IR-Ansatz wird von Feuchtesensorherstellern seit Langem bevorzugt, da sich mit IR alles vom leichtesten Tissuepapier bis zu Karton und von null Feuchtigkeit bis zur Sättigungsgrenze des Papiers messen lässt.

In den ABB IR-Feuchtesensoren älterer Generation und in Sensoren von Mitbewerbern kommt eine Signalverarbeitung zum Einsatz, die eine Amplitudenmodulation und anschließende Demodulation der IR-Strahlung nutzt, um jegliche Hintergrundphänomene zu unterdrücken, die die Messungen beeinflussen könnten, und um grundlegende Einschränkungen des Detektors zu überwinden.



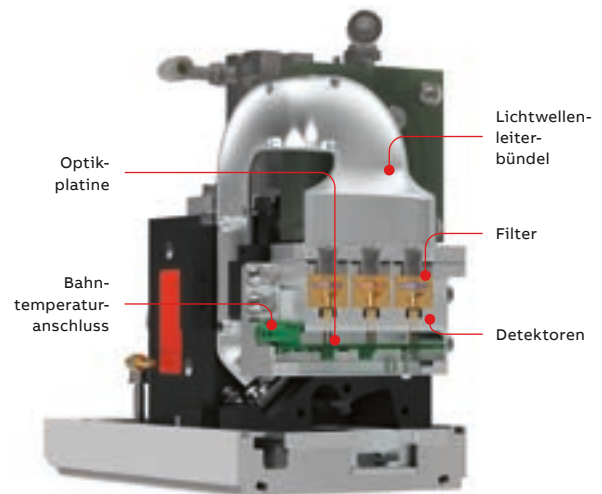
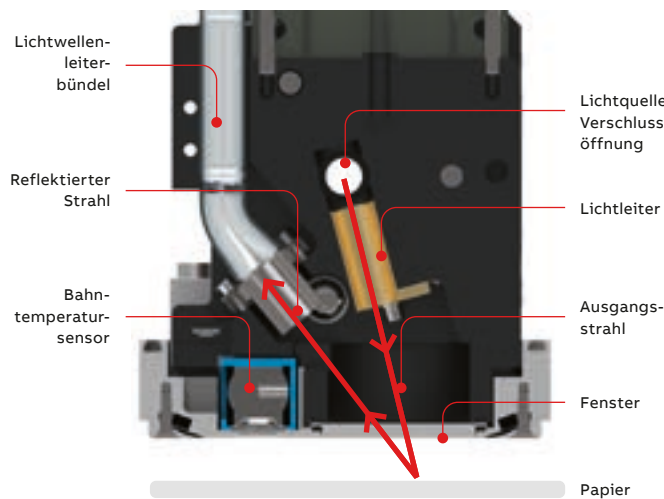
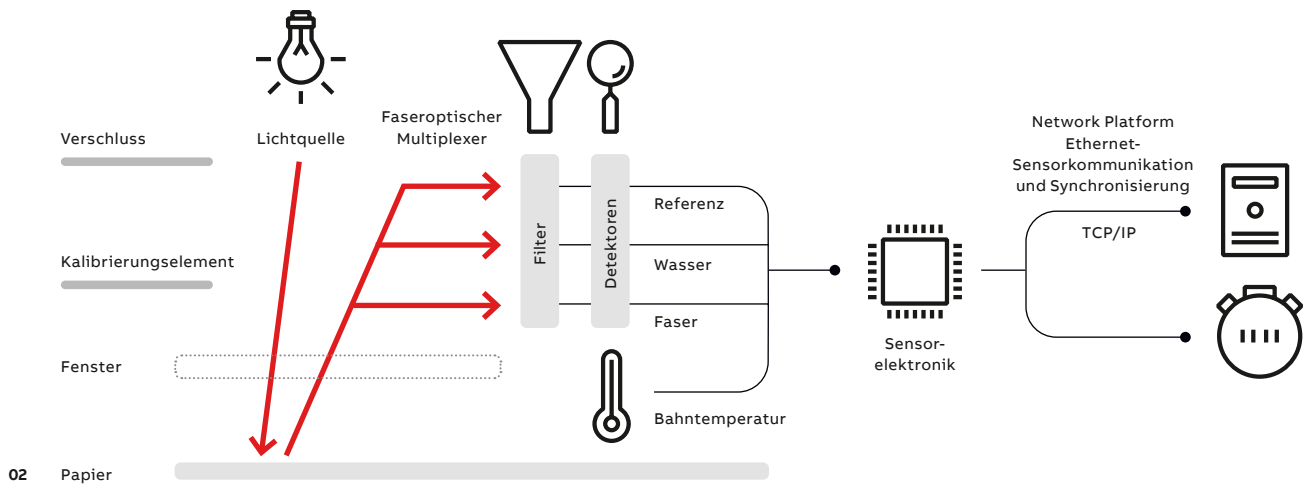
01

Dabei wird die Modulation normalerweise durch einen mechanischen Chopper erreicht, der den IR-Strahl unterbricht. Das bedeutet, dass das System wie ein blinzeldes Auge nur Messungen erfasst, wenn das Auge geöffnet ist. Dies hat Nachteile, die mit vielen heutigen Hochgeschwindigkeits-Produktionsprozessen nicht vereinbar sind. So ist die Messgeschwindigkeit durch die Modulationsfrequenz (Nyquist-Grenze) und die Fähigkeit der Detektorelektronik zum Vorfiltern und Demodulieren des Signals begrenzt.

Der neue ABB HPIR-R-Sensor basiert auf einem grundlegend anderen [1] und einfacheren Konzept der Signalverarbeitung. Statt die Amplitude des Messstrahls zu modulieren, liefert das Gerät kontinuierlich IR-Energie an den Bahnprozess, was dafür sorgt, dass es mit der maximal möglichen Geschwindigkeit (lediglich begrenzt durch die Eigenschaften des photovoltaischen Detektors) messen kann. Das Ergebnis sind der beste Signal-Rausch-Abstand und die höchste Geschwindigkeit, die auf dem Markt erhältlich sind.

Aufbau des HPIR-R-Sensors

Das HPIR-R-Modul enthält eine Wolfram-Halogen-Lampe, die ein konstantes und intensives, breitbandiges sichtbares Licht liefert und eine ergiebige und kostengünstige IR-Quelle darstellt →01–03. Darüber hinaus verfügt das Modul über einen Verschluss, der für kurze Zeit vor die Lampe geschoben werden kann, um IR-Energie von der Papierbahn fernzuhalten, sodass ein Normalisierungs-Offset – eine Kombination aus elektronischem Offset und einem optischen Hintergrundsignal – bestimmt werden kann. Damit keine Prozessdaten verloren gehen, wird diese Hintergrund-Normalisierung durchgeführt, wenn das Scaninstrument pausiert, um nach jeweils fünf oder mehr Scans der Papierbahn



—
02 Dank der modulationsfreien Technologie arbeiten die HPIR-Sensoren von ABB wie ein Auge, das nicht blinzelt.

—
03 Der Sensor vom Typ HPIR-R.

03a Hauptbestandteile (Seitenansicht).

03b Hauptbestandteile (Schrägansicht).

umzudrehen. Der Verschluss ist auch geschlossen, wenn der Sensor neben der Bahn „geparkt“ ist. Im normalen Betrieb ist der Verschluss immer geöffnet, was die hohe Messrate ermöglicht, die den HPIR-R auszeichnet.

Die optischen Komponenten des HPIR-R bündeln die IR-Energie der Lichtquelle auf effiziente Weise und lenken sie durch ein Fenster auf die Papieroberfläche →04. Die reflektierte Energie wird von drei Detektoren aufgenommen, die mithilfe eines optischen Filters jeweils eine bestimmte Wellenlänge erfassen. Aus dem bei jeder Wellenlänge relativ zu einer Referenzwellenlänge absorbierten Licht lassen sich die Konzentrationen von Wasser und Zellulose auf der Papieroberfläche ableiten.

Der Detektor besteht aus einem faseroptischen Multiplexer mit einem Lichtwellenleiterbündel aus

3.000 Einzelfasern, das als zufälliges Netzwerk innerhalb des Multiplexers strukturiert ist, um die aufgenommene Energie zufällig auf drei Ports zu verteilen. Lichtwellenleiter sind eine wichtige Schlüsseltechnologie für Infrarot-Messgeräte von ABB. Sie sind hocheffizient, vibrations- und temperaturunempfindlich, robust und ermöglichen ein sehr einfaches, kompaktes und leichtes Gerätedesign. Dank der flexiblen Lichtwellenleiter lassen sich die optoelektronischen Komponenten in einer für das Produkt-Packaging und Temperaturmanagement optimalen Konfiguration anordnen. Andere Konzepte mit Spiegeln, Strahlteilern und Diffusionskugeln sind weniger platzsparend und anfällig für verschiedene Umweltfaktoren.

An den drei Ports wird mithilfe eines IR-Bandpassfilters der jeweilige Nahinfrarot-Wellenlängenbereich (Referenz, Wasser und Zellulose)

selektiert. Anschließend werden die Signale zu drei Fotodetektoren gelenkt, die ein von der einfallenden optischen Leistung abhängiges elektronisches Signal erzeugen. Das Fotodetektorsignal wird dann mithilfe von Verstärkern aufbereitet, um eine maximale Auflösung des Digitalisierers zu gewährleisten. Alle Detektorkanäle haben die gleiche „Sicht“ auf denselben Punkt des Prozesses, was eine kontinuierliche und gleichzeitige Messung aller Wellenlängen ermöglicht. Es ist keine spezielle Kachel als Hintergrund auf der anderen Seite der Papierbahn erforderlich.

Alle optoelektronischen Komponenten sind in einem einzigen luftgekühlten, temperaturgeregelten Gehäuse untergebracht. Der HPIR-R ist für Umgebungstemperaturen bis 125 °C und die Messung von Feuchtigkeitskonzentrationen zwischen 0 und 70 Prozent über eine große Bandbreite von Trockengewichten vom leichtesten Tissue-Papier bis hin zum schwersten Karton ausgelegt. Die absolute Messgenauigkeit beträgt 0,25 Prozent, und die Auflösung ist deutlich besser als 0,01 Prozent. Der Sensor wird als einzelner Produkttyp mit umfassender, für jeden Papiertyp geeigneter Werkskalibrierung angeboten. Damit sind die Sensoren vollständig austauschbar.

Der HPIR-R kann vor Ort repariert werden, was in Verbindung mit seiner Unempfindlichkeit gegen Staub und Störungen für eine hohe Verfügbarkeit und niedrigere Gesamtbetriebskosten im Vergleich zu ähnlichen Lösungen sorgt. Da sich

Kundenanlagen tief im Wald in der Nähe der Rohstoff- und Energiequellen, aber auch in der Nähe von Stadtzentren befinden können, spielt die Reparierbarkeit vor Ort eine wichtige Rolle. Bei den meisten Reparaturschritten müssen lediglich Teile ausgetauscht werden, wozu nur Innensechskantschlüssel und wenige Minuten Zeit erforderlich sind. Da die Messrahmen tief in die Papiermaschine integriert sind, sieht ABB ein vorbeugendes Wartungsprogramm (alle zwei Jahre) vor, das mit Maschinenabschaltungen abgestimmt werden kann.

Kompensation von IR-Fremdeffekten

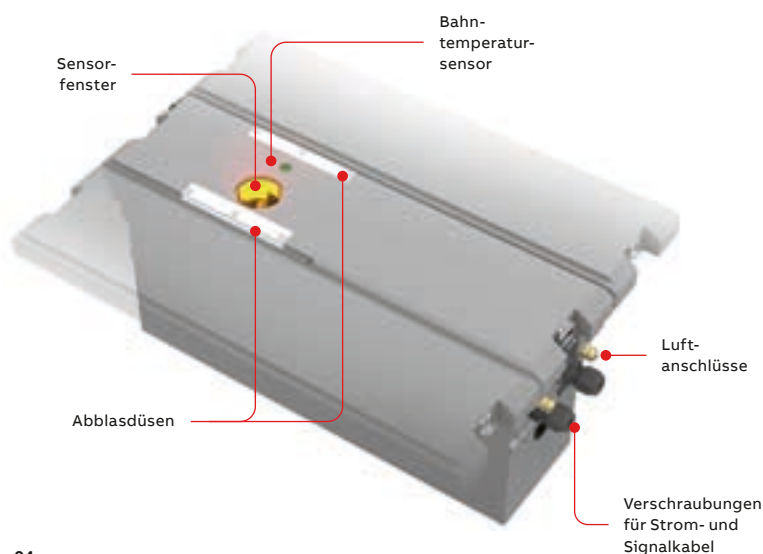
Der heiße Prozess der Papierbahn sendet ebenfalls IR-Energie mit großer Bandbreite aus. Die Bestrahlungsstärke und die Spektraleigenschaften dieser Emission sind abhängig von der Bahntemperatur. Um diesen Effekt aus dem IR-Hauptsignal zu „entfernen“, verfügt der HPIR-R über ein integriertes zusätzliches IR-Pyrometer, das die gleichzeitige, separate Messung der von der Papierbahn ausgehenden IR-Strahlung ermöglicht. Dieser Messwert wird auch zur Kompensation der Feuchtemessung im Hinblick auf andere IR-Hintergrundeffekte verwendet. Mit anderen Worten, der HPIR-R bietet Papierherstellern den Vorteil einer gleichzeitigen Temperaturmessung, die zusätzliche Einblicke in die Oberflächeneigenschaften des Papiers gewährt.

Schnellste Feuchtemessung auf dem Markt

Mit bis zu 5.000 vollständig integrierten, statistisch unabhängigen Feuchtigkeitsmessungen pro Sekunde bietet der HPIR-R eine in der Branche unerreichte Messrate. Zum Vergleich: Der HPIR-R liefert 83-mal mehr (in 50-Hz-Systemen 100-mal mehr) Datenpunkte als sein Vorgänger aus dem Jahr 1973 – und das bei einer räumlichen Messauflösung von nur 6 mm, was in etwa der Größenordnung der „Fingerspitzenmessungen“ aus den Anfängen der Papierherstellung entspricht.

Als Teil des ABB Ability™ Quality Management Systems liefert der HPIR-R Daten in einem vollständig digitalen Format, was die Integrität der Signale sicherstellt. Der generierte Datenstrom kann über das Glasfasernetz der Fabrik direkt an einen Edge-Server, Qualitätsmanagement-Anwendungen und die Cloud übertragen werden. Neben den Hochgeschwindigkeitsmessungen liefert der Sensor eine Vielzahl von Diagnosedaten, die für Analysen zur Entscheidungsfindung vor Ort oder auf Unternehmensführungsebene genutzt werden können. Der HPIR-R eignet sich für alle Messrahmen vom Typ ABB Network Plattform und kann zur Messung von Publikationspapieren, grafischen Papieren, Karton, Tissuepapier,

04 Die Prozessseite des HPIR-R-Sensors mit dem Fenster, durch das die Messungen erfasst werden.



Verpackungen, gestrichenen Produkten, farbigen Produkten, Spezial- und Recyclingpapieren eingesetzt werden.

Kosten- und Energieeinsparungen

Die unübertroffene Geschwindigkeit und Genauigkeit der Feuchtemessungen mit der patentierten Technologie des HPIR-R ermöglicht eine optimierte Trocknung, einen reduzierten Dampfeinsatz, signifikante Energieeinsparungen in den Trockenpartien und eine Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks. Tatsächlich kann eine Anpassung des Dampfdrucks für eine Feuchtigkeitsänderung von nur einem Prozent zu jährlichen Energieeinsparungen in Höhe von 400.000 USD führen. Der kleine Infrarotpunkt des Sensors sorgt selbst in den anspruchsvollsten Umgebungen für eine hervorragende Streifenauflösung und eine genaue Messung von einer Kante der Papierbahn zur anderen →05.

Obwohl der Sensor überall platziert werden kann, ist der Einsatz vor der Leimpresse am wirkungsvollsten, wo eine bessere Präzision und Genauigkeit eine Erhöhung des Feuchtigkeitssollwerts ermöglicht, was wiederum zu einer optimierten Stärke-/Leimaufnahme und einem geringeren



05

— 05 Die intensive IR-Strahlung, die von den IR-Trocknern oberhalb des Bahnzugs abgegeben wird, hat keine Auswirkungen auf den HPIR-R (zu sehen hinter der Bahn mit dem Messpunkt auf der Vorderseite).

— 06 Der HPIR-R wird dort im Prozess platziert, wo er die größte Wirkung hat. Häufig ist dies die Leimpresse.



06

Energiebedarf bei der Trocknung führt →06. Ebenfalls von hohem Nutzen ist der Sensor nach der Nasspressenpartie, wo er eine Anpassung der Pressenbelastung ermöglicht, um das Feuchtigkeitsprofil zu verbessern und den Trockengehalt der Bahn vor der Trockenpartie zu erhöhen. Dieses Finetuning führt neben den Energieeinsparungen zu einer höheren Bahnfestigkeit in diesem sensiblen Bereich der Maschine, was wiederum bessere Laufeigenschaften und ein besseres Abrissverhalten bedeutet.

Höhere Feuchtigkeitsollwerte und engere Toleranzen

Mit seinen schnellen und präzisen Messungen über die gesamte Bahnbreite gibt der HPIR-R Papierherstellern die Sicherheit, die sie benötigen, um die Feuchtigkeitsollwerte entlang des Prozesses zu erhöhen und so die Feuchtigkeitsprofile zu verbessern und den Energieeinsatz zu reduzieren.

Da der exakte Feuchtigkeitsgehalt zu jedem Zeitpunkt bekannt ist, kann ein engerer Sollwertbereich für die Feuchtigkeit gewählt werden. Dies führt zu erheblichen unmittelbaren Energiekosteneinsparungen, da auf ein Übertrocknen einiger Bereiche der Papierbahn verzichtet werden kann, nur um sicherzustellen, dass alle Bereiche innerhalb der Vorgaben liegen. Zudem kann der Papierhersteller schneller zu einem spezifikationsgemäßen Produkt gelangen, was dabei hilft, die Produktionsmenge zu erhöhen, Energie einzusparen und Qualitätsverluste zu reduzieren.

Vorteile der kontinuierlichen Messung

Über die grundlegende Feuchtigkeitsregelung hinaus unterstützt der HPIR-R mit seiner „blinzelfreien“ Eigenschaft die globale Transformation, bei der immer mehr Unternehmen auf Verfahren der Industrie 4.0 und das Industrielle Internet der Dinge (IIoT) setzen, um wertvolle Betriebsdaten

Mit dem HPIR-R präsentiert ABB einen weiteren Hochgeschwindigkeits-Feuchtesensor, der den erfolgreichen HPIR-T ergänzt. Der HPIR-R misst die Oberflächenfeuchtigkeit und -temperatur von Papier mithilfe von Infrarot-Spektroskopie und bringt damit die Spektroskopie und Hochleistungsmessungen in einige der anspruchsvollsten und extremsten Umgebungen der Prozessindustrie.

Inmitten des aufsteigenden Dampfs, der recycelten Reststoffe, der Vibrationen und der hohen Temperaturen einer modernen Papiermaschine scannt der HPIR-R die Oberfläche der laufenden Papierbahn im IR-Bereich, um die unsichtbaren „Farben“ der Chemie sichtbar zu machen. Während er sich Millimeter für Millimeter über die Bahn bewegt, sammelt der Sensor mit 5.000 Messungen pro Sekunde Daten über die Oberflächenfeuchtigkeit und -temperatur des Papiers. In Kombination mit den Daten eines Flächengewichtssensors lässt sich daraus auch die Trockenmasse des Prozesses ermitteln.

Diese Daten offenbaren kleinste Veränderungen des Papiers während der Herstellung. Dieser digitale „Fingerabdruck“ liefert ABB-Regelalgorithmen die notwendigen Informationen, um die Variabilität des Prozesses zu reduzieren und schnell und effizient den gewünschten Sollwert zu erreichen und zu halten. In einem derart schnellen und energieintensiven Prozess summieren sich kleine Abweichungen sehr schnell, weshalb es auf eine rasche Erkennung und Reaktion ankommt. Die Regelung der Feuchtigkeit war und wird für die Effizienz und Nachhaltigkeit der Papierherstellung sets von entscheidender Bedeutung sein.

Die Herausforderung besteht darin, die Sensoren von ABB für eine Ära der Nachhaltigkeit und Digitalisierung fit zu machen. Der HPIR-R meistert diese Herausforderung mit einer überzeugenden digitalen Lösung, die die langjährige Erfahrung von ABB mit modernster Technologie in einem Produkt kombiniert, das darauf ausgelegt ist, den Bedürfnissen der Papierindustrie in den kommenden Jahrzehnten gerecht zu werden. •

—
Der Papierhersteller kann schneller zu einem spezifikationsgemäßen Produkt gelangen.

zu nutzen. Moderne informationsbasierte Systeme teilen und analysieren diese Daten, sodass Qualitätsmerkmale kontinuierlich beurteilt und historisch mit Veränderungen in den Schichtplänen, Fähigkeiten des Bedienpersonals, saisonalen Temperaturen usw. verglichen werden können.

Literaturhinweis

[1] S.P. Sturm et al.: „Method and apparatus for on-line web property measurement“. U.S. patent US8148690, 3. April 2012.

Diesen Artikel teilen



—

NICHTINVASIVE VORHERSAGE DER SCHMELZE-
TEMPERATUR IN ECHTZEIT

Intelligente Ableitung

In einer gezielten Studie hat ABB ein fortschrittliches KI-Modell entwickelt und erfolgreich getestet, das die Temperatur der Stahlschmelze in einem Lichtbogenofen anhand des Kühlwassertemperaturanstiegs kontinuierlich und präzise vorhersagt. Die Weiterentwicklung dieser Innovation soll der Stahlindustrie dabei helfen, den Stahlherstellungsprozess zu optimieren, die Nachhaltigkeit zu verbessern, Energie einzusparen und Emissionen zu reduzieren.

—

Subhashish Desgupta
Vishal Jana
Dinesh Patil
ABB Corporate Research
Process Automation
Bangalore, Indien

subhashish.dasgupta@
in.abb.com
vishal.jana@in.abb.com
dinesh.patil@in.abb.com

Es ist hinlänglich bekannt, dass die Stahlherstellung mit hohen Treibhausgas-(THG-)Emissionen verbunden ist. Stahlwerke produzieren weltweit rund 1,78 Gt Abgase im Jahr [1]. Zweifellos ist der CO₂-Fußabdruck von Stahl groß: Im Jahr 2018 lag der CO₂-Ausstoß pro Tonne produziertem Stahl bei durchschnittlich 1,85 t – das entspricht rund 8 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen in dem Jahr [2]. Dem gegenüber stehen die zunehmende Forderung seitens der Kunden nach einer weniger kohlenstoffintensiven Stahlherstellung, strengere Vorschriften für CO₂-Emissionen und ein wachsendes Interesse von Investoren und der Öffentlichkeit für das Thema Nachhaltigkeit [2].

Kurzum, trotz beträchtlicher Herausforderungen muss die Stahlherstellung grüner werden. Das heißt, es sind entsprechende Anstrengungen zur Dekarbonisierung, Optimierung des

—

Kunden und Investoren fordern eine weniger kohlenstoffintensive Stahlherstellung.

Energieverbrauchs und andere Maßnahmen notwendig.

Der Einsatz fortschrittlicher digitaler Technologien könnte dabei helfen, diese Herausforderungen zu bewältigen. Mit über 100 Jahren Erfahrung befasst sich ABB schwerpunktmäßig mit Elektrifizierungs-, Automatisierungs- und digitalen Lösungen, die fortschrittliche Datenanalysen, maschinelle Lernverfahren (ML) und andere KI-Technologien nutzen, um Metallproduzenten dabei zu helfen, die an sie gestellten





Eine bessere Temperaturregelung beim Stahlschmelzen kann Energie, Emissionen und Kosten sparen.

Bei Temperaturen von über 1.630 °C ist eine direkte Kontaktmessung nicht möglich.



ABB nutzt KI zur genauen Bestimmung der Temperatur.

Herausforderungen zu meistern, also Emissionen zu reduzieren, den Energieverbrauch zu optimieren und gleichzeitig die Produktivität zu verbessern und Kosten zu senken. Damit ist ABB in der Lage, die digitale Transformation der Stahlindustrie zu unterstützen, um den Weg in Richtung Nachhaltigkeit zu beschleunigen. Im Rahmen dieser Arbeit untersucht ABB die Möglichkeit zur Anwendung mechanistischer und KI-basierter Modelle, insbesondere Modelle neuronaler Netze (NN), um die Temperatur der Stahlschmelze in einem Elektrolichtbogenofen (Electric Arc Furnace, EAF) auf nichtinvasive Weise mit dem Ziel zu messen, die Abgase und den Energieverbrauch durch Optimierung zu reduzieren.

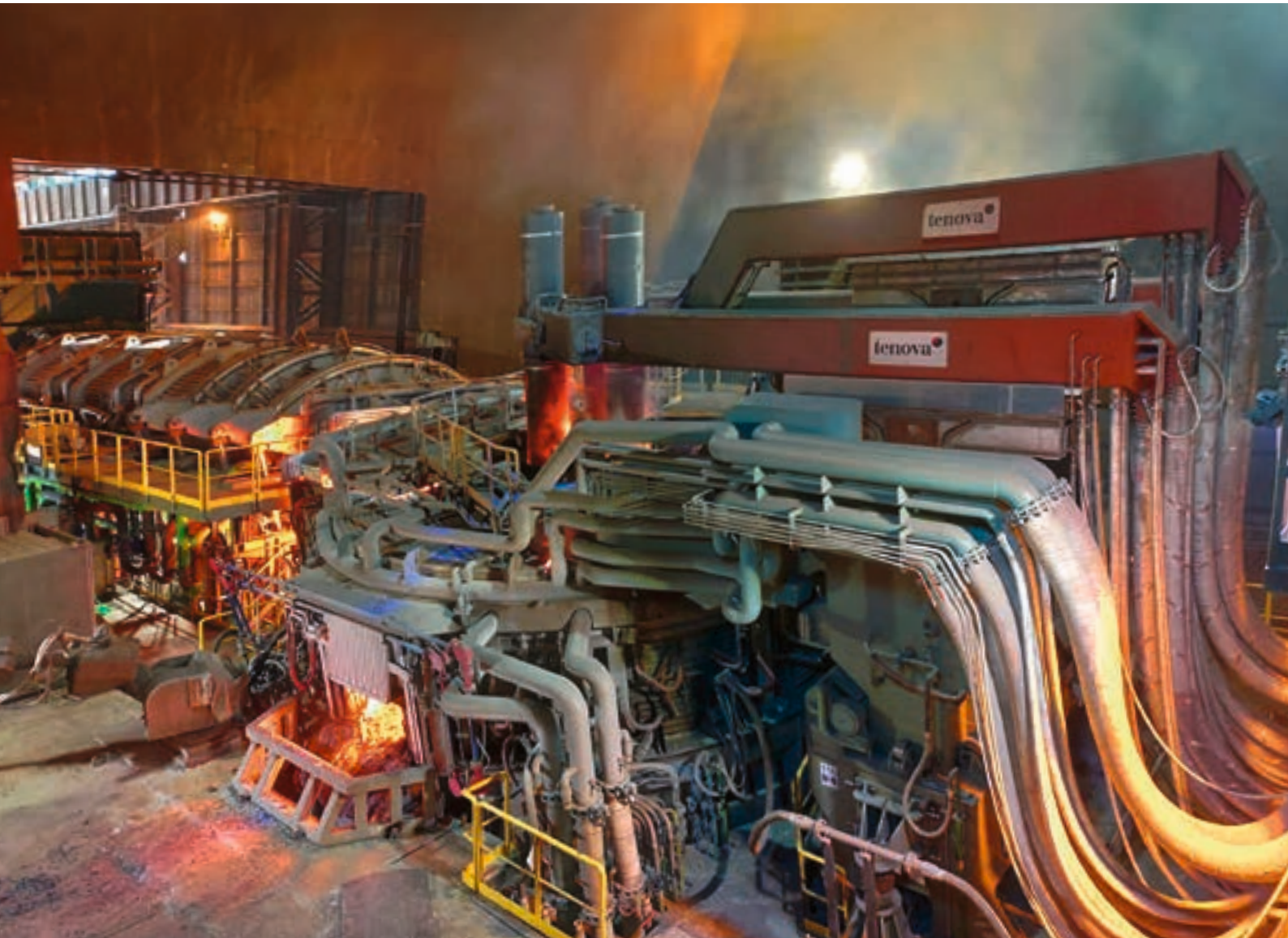
Wahl des richtigen Ofens

Der Weg zu einer kohlenstoffarmen Zukunft

in der Stahlindustrie beginnt mit der Wahl des Schmelzofens. Bei der Stahlherstellung kommen vornehmlich zwei Technologien zum Einsatz: die zurzeit in Europa hauptsächlich verwendete

—
ABB hilft Metallproduzenten dabei, die an sie gestellten Herausforderungen zu meistern.

integrierte Hochofen-Konverter-Route und der zunehmend populäre EAF →01. Während bei der Hochofen-Konverter-Route Stahl aus Rohstoffen wie Eisenerz unter Verwendung von Kohle (oder



01

— 01 Technologien von ABB tragen bereits zur Verbesserung der Effizienz in einigen der größten Elektrolichtbogenöfen der Welt bei. Der größte EAF von Acciaieria Arvedi hat ein Abstichgewicht von 300 t und nutzt einen Chargenmix mit heiß brikettiertem Eisen (HBI), einer hochwertigen Form von Eisenschwamm.

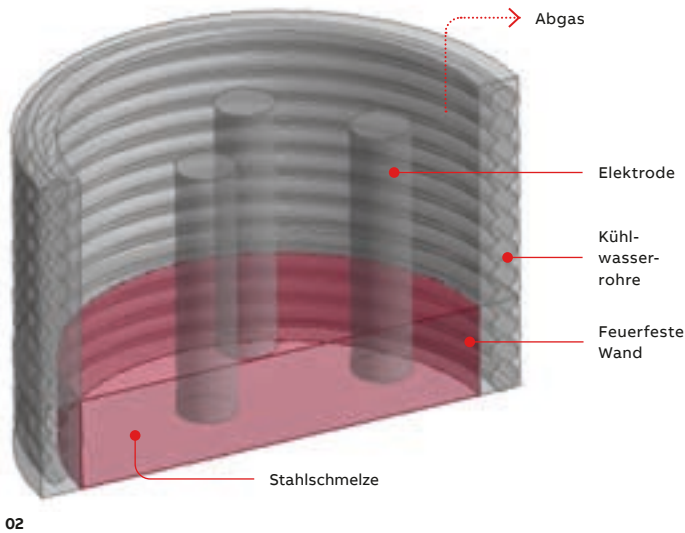
Koks) als Reduktionsmittel hergestellt wird, kann in EAFs eine breitere Palette von Rohstoffen wie Schrott, Eisenschwamm und Flüssigroheisen verwendet werden – unabhängig von Kohle. EAFs sind nicht nur flexibler und können die Marktnachfrage schneller bedienen, wenn sich die Verfügbarkeit der Rohstoffe ändert, sie zeichnen sich auch durch geringere CO₂-Emissionen, eine höhere Ressourceneffizienz und bessere Recyclingmöglichkeiten aus. Als innovativer Partner der Metallindustrie untersucht und entwickelt ABB richtungsweisende Technologien für EAFs mit dem Ziel, einen effizienteren Betrieb zu ermöglichen und die Stahlindustrie in ihren Bemühungen um eine nachhaltige, CO₂-arme Stahlproduktion zu unterstützen.

Effizienz im Blick

Wie bei allen Chargenprozessen spielt die Regelung von Prozessvariablen wie der Temperatur in jeder Phase des Stahlherstellungsprozesses eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, eine maximale Produktivität sicherzustellen

und gleichzeitig den Energieeinsatz und die Betriebskosten zu reduzieren. Der Einsatz einer nichtinvasiven Temperaturmessung kann dabei helfen, diese Ziele zu erreichen.

Um die Effizienz des EAF-Prozesses zu erhöhen und eine bessere Kontrolle der erzeugten Abgase zu ermöglichen, muss die Temperatur der Stahlschmelze während des Prozesses genau überwacht werden, was aber nicht so einfach ist. Da die Schmelze Temperaturen von 1.630 °C und mehr erreichen kann, ist die Installation einer permanenten Temperatursonde innerhalb des Ofens unmöglich. Gängige Praxis ist es, einen „Opfersensor“ in die Schmelze einzuführen, die Temperatur momentan zu erfassen und den Sensor anschließend zu entsorgen. Dieser Vorgang wird einmal pro Produktionslauf durchgeführt. Der Temperatursensor wird in einem Schutzrohr eingeführt, und die Elektroden werden während des Messvorgangs abgeschaltet, was die Effizienz mindert und sich auf die Kosten und auch die Sicherheit auswirkt.



02

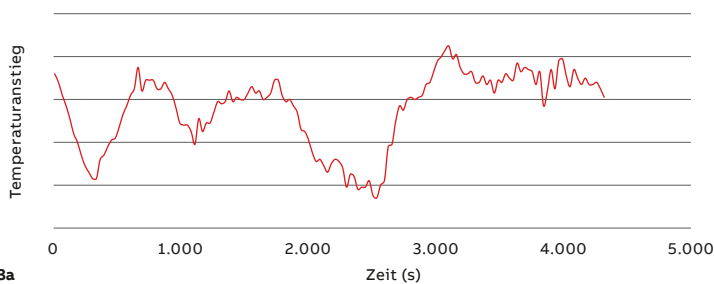
02 Schematische Darstellung eines typischen EAF.

03 Vergleich verschiedener Temperaturmessungen und -schätzungen. Die Einheiten auf der Temperaturachse sind aus Datenschutzgründen nicht dargestellt.

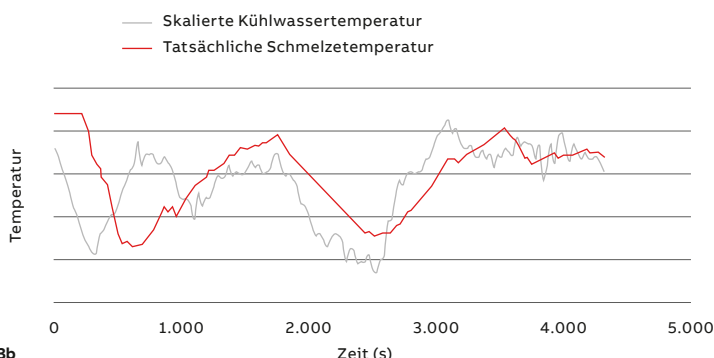
03a Der Anstieg der Kühlwassertemperatur T_{cw} in Abhängigkeit von der Zeit.

03b Vergleich der skalierten T_{cw} mit der Schmelztemperatur T_m , die mithilfe einer Wärmebilanzgleichung geschätzt wurde.

Um die verschiedenen Betriebsparameter so aufeinander abzustimmen, dass Energie eingespart und gleichzeitig die erforderliche Qualität sichergestellt wird, wäre eine Überwachung der Temperatur in Echtzeit und nicht nur einmal pro Durchlauf erforderlich. Dazu hat ABB im Rahmen des Process Automation Hackathon 2022 eine Methode untersucht, die eine kontinuierliche Schätzung der Schmelztemperatur mithilfe externer Temperaturmessungen und KI-Verfahren ermöglicht. Der PA Hackathon ist eine jährliche Veranstaltung von ABB zur Entwicklung innovativer Ideen auf dem Gebiet der Prozessautomatisierung.



03a



03b

EAF-Aufbau und Schmelzprozess

Bevor wir uns mit den untersuchten Methoden befassen, soll kurz die Funktionsweise eines EAF →01 erläutert werden. In einem EAF wird Stahl zusammen mit anderen Einsatzstoffen mithilfe der von Lichtbogenelektroden erzeugten Wärme in einer geschlossenen Kammer geschmolzen. Die Kammer aus Schamottestein besitzt eine feuerteste Auskleidung, in die ein Mantel aus Wasserrohren zur Kühlung und zum Schutz der Auskleidung installiert ist →02. Die beim Prozess entstehenden Gase werden durch eine Öffnung oben am EAF abgeführt.

Nichtinvasive Temperaturschätzung

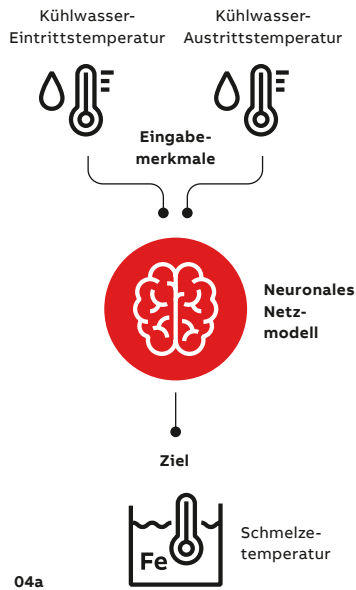
Beim PA Hackathon 2022 sind ABB und die Teilnehmer der Idee nachgegangen, ob sich die Schmelztemperatur anhand von äußeren Anzeichen, speziell dem Temperaturanstieg des in den Rohren der Auskleidung zirkulierenden Kühlwassers, bestimmen lässt. Dazu wurde eine erste Proof-of-Concept-Studie unter Verwendung von Messdaten eines Kunden durchgeführt. Der Anstieg der Kühlwassertemperatur T_{cw} , der sich aus der Differenz zwischen der Eintritts- und Austrittstemperatur bestimmen lässt, wurde direkt an der Anlage gemessen →03a. Anlagendaten wie die Lichtbogenleistung, der Sauerstoffdurchsatz usw. wurden ebenfalls bereitgestellt. Die Schmelztemperatur T_m wurde in Echtzeit mithilfe eines in Python implementierten Wärmebilanzmodells geschätzt →03b. Die Skalierung von T_{cw} mithilfe einer nichtlinearen mathematischen Funktion ergab eine gute Übereinstimmung zwischen den skalierten T_{cw} -Werten und T_m etwa 1.000 s (ca. 16 Minuten) nach Initiierung des Prozesses. Dieses positive Ergebnis der Studie veranlasste das Team dazu, zu untersuchen, ob sich die Schmelztemperatur mithilfe fortschrittlicher KI-Verfahren auf nichtinvasive Weise schätzen lässt.

Dazu wurde ein Modell eines tiefen neuronalen Netzes (Deep Neural Network, DNN) in Python entwickelt, das die Kühlwassertemperatur mit der Schmelztemperatur verknüpft →04a. Das mit historischen Daten trainierte DNN-Modell war in der Lage, die Schmelztemperatur aus dem Anstieg der Kühlwassertemperatur mit akzeptabler Genauigkeit vorherzusagen →04b. Durch weitere Modifikationen der Analyse und Verbesserungen der Datenerfassung ist bei nachfolgenden Untersuchungen eine noch bessere Genauigkeit der Vorhersage zu erwarten. Zurzeit arbeitet ABB daran, den Code der nichtinvasiven Temperaturschätzung als Option für metallverarbeitende Prozesse in ihre Leittechnikplattform zu integrieren.

04 Ergebnisse des NN-Modells.

04a Ein neuronales Netzmodell verknüpft die Kühlwassertemperatur mit der Schmelztemperatur.

04b Die vorhergesagte Schmelztemperatur stimmt recht genau mit der tatsächlichen Temperatur überein (obere Grafik). Die untere Grafik zeigt die dazugehörigen Fehlerwerte. Die Einheiten auf der Temperaturachse sind aus Datenschutzgründen nicht dargestellt.

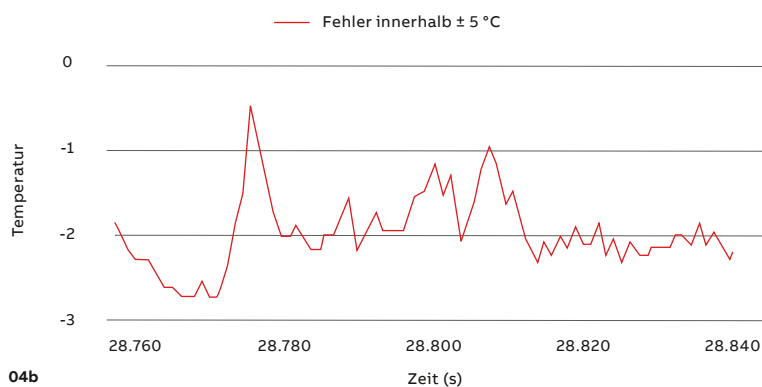
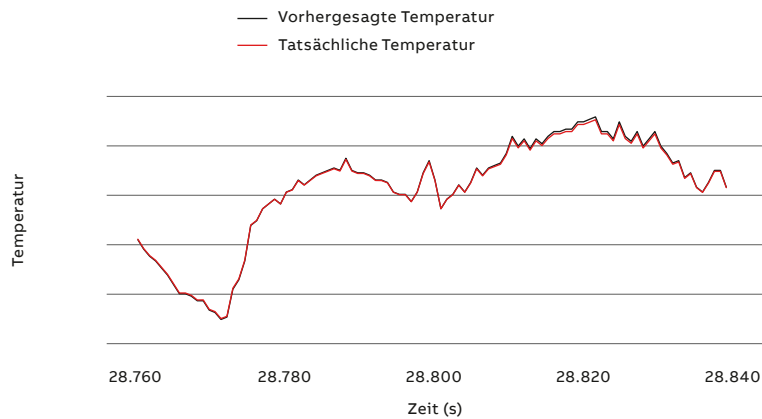


04a

Einzigartige Vorteile

Mit der Studie hat ABB gezeigt, dass es möglich ist, das Prozessverhalten, z. B. die Schmelztemperatur, auf nichtinvasive Weise mithilfe von KI-basierten Modellierungsverfahren zufriedenstellend vorherzusagen, solange relevante Prozessbedingungen bekannt sind, Daten in ausreichender Qualität zur Verfügung stehen und Branchenexperten involviert sind. Mit der ABB-Lösung sind Experten in der Lage, interne Parameter auf nichtinvasive Weise zu schätzen. Diese Möglichkeit ist nicht nur begrüßenswert, sie bietet auch eine ganze Reihe praktischer Vorteile. So erlaubt die nichtinvasive Schätzung der Schmelztemperatur eine Temperaturüberwachung in Echtzeit, was wiederum wertvolle Möglichkeiten der betrieblichen Optimierung

Das KI-Modell ermöglicht eine kontinuierliche Vorhersage der Schmelztemperatur.



04b

eröffnet: Der Schmelzprozess kann weiterlaufen, ohne dass die Elektroden vorübergehend abgeschaltet und Sensoren entsorgt werden müssen. Das spart Zeit, Energie und Kosten. Zudem ermöglicht die Echtzeit-Überwachung der Temperatur eine bessere Kontrolle der Abgasemissionen. Dies ist für die Stahlindustrie nicht nur im Hinblick auf einen effizienten Betrieb von Bedeutung, sondern spielt auch für die Bemühungen der Branche um eine Reduzierung der THG-Emissionen eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, den Anforderungen von Kunden, Investoren und gesetzlichen Vorschriften gerecht zu werden.

Ausblick

Während die ursprüngliche Idee der gezielten Studie darin bestand, zu untersuchen, ob die Kühlwassertemperatur als indirektes Maß zur Vorhersage der Schmelztemperatur genutzt werden kann, lassen die bisherigen positiven Ergebnisse darauf schließen, dass auch andere externe Messungen – zum Beispiel der Abgastemperatur – verwendet werden könnten, um die Schmelztemperatur mithilfe fortschrittlicher DNN-Verfahren zu schätzen. Entsprechende Untersuchungen finden bereits statt. So wird ABB mit Blick auf die Metallverarbeitung und digitale Technologien weiter daran arbeiten, der Stahlindustrie durch analysebasierte Innovationen einen Mehrwert zu verschaffen. •



Weitere Informationen

ABB-Website: „SSAB, the Association for Iron & Steel Technology and ABB discussed the journey to fossil-free steel“



ABB-Website: „Enduring electric arc furnace optimization technology plays a part in steel's sustainable future“



Literaturhinweise

[1] J. Kleinikorda et al.: „What Shall We Do with Steel Mill Off-Gas: Polygeneration Systems Minimizing Greenhouse Gas Emission“. *Environmental Science & Technology*, Vol. 56, No. 18 (2022), S. 13.294–13.304.

[2] C. Hoffmann et al.: „Decarbonization challenges for steel“. McKinsey & Company, 03.06.2020. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/decarbonization-challenge-for-steel> (abgerufen am 05.06.2024).

Diesen Artikel teilen





Unternehmen müssen Emissionen reduzieren und höhere Standards in puncto Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit erfüllen.

ABB bietet eine Reihe von Lösungen zur Erfassung und Auswertung von Anlagendaten.



ABB Ability™ Energy and Asset Manager optimiert den Stromverbrauch, minimiert Ausfallzeiten und reduziert Energie- und Wartungskosten um bis zu

30%



HILFE AUF DEM WEG ZUR KLIMANEUTRALITÄT

Detaillierte Einblicke

ABB Ability™ Energy and Asset Manager hilft Nutzern dabei, ihren Stromverbrauch zu optimieren, Ausfallzeiten zu minimieren und Energie- und Wartungskosten um bis zu 30 Prozent zu reduzieren. Erreicht wird dies durch Herunterbrechen der Überwachung und Datenanalyse auf einzelne Betriebsmittel und Teilsysteme wie ein Aufzug oder ein einzelnes HLK-System. Dank dieses granularen Ansatzes erhält der Nutzer ein vollständiges Bild über den Funktionszustand seiner angeschlossenen Anlagen.



01

—
01 ABB Ability™
Energy and Asset
Manager bietet intuitive
Dashboards.

Energie spielt eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, ein Unternehmen am Laufen zu halten. Dabei gilt es, die Kosten, Sicherheit und Effizienz dieser Energieversorgung – für Strom und andere Energiequellen – im Blick zu behalten, um Betriebsausgaben zu kontrollieren und die Gefahr kostspieliger Stillstände oder gar katastrophaler Ausfälle zu reduzieren. Die Tatsache, dass sich die durchschnittlichen Kosten von ungeplanten Anlagenstillständen in der Fertigung auf 260.000 USD in der Stunde [1] belaufen, macht ein effizientes Energie- und Asset-Management für Unternehmen unverzichtbar.

Gesetzliche Fristen zur Emissionsreduzierung rücken ebenfalls immer näher. Um die globale Erwärmung wie im Pariser Klimaabkommen vorgesehen auf 1,5 °C zu begrenzen, muss der Treibhausgasausstoß in den nächsten sieben Jahren um 45 Prozent und bis zum Jahr 2050 auf netto null reduziert werden. Zurzeit gehen bei einem durchschnittlichen Gebäude jedoch geschätzte 30 Prozent [1] der verbrauchten Energie aufgrund von Ineffizienzen verloren, was wiederum mit unnötigen – weil leicht zu vermeidenden – CO₂-Emissionen einhergeht.

Angesichts steigender Energiepreise, alternder Infrastrukturen und immer strengeren Emissionsvorschriften setzen Unternehmen vermehrt auf digitale Lösungen, die ihnen dabei helfen, Ausfallzeiten zu minimieren, das Optimum aus ihren Betriebsmitteln herauszuholen, Vorschriften zu erfüllen und das Erreichen der CO₂-Neutralität zu beschleunigen. ABB Ability™ Energy and Asset Manager, ein hochmodernes, modulares, cloud-basiertes System mit intuitiven Dashboards →01, ist eine solche Lösung.



Sherif El-Meshad
Electrification
Ratingen, Deutschland

sherif.el-meshad@
de.abb.com

Die Lösung bietet Echtzeit-Einblicke in den Energieverbrauch, die Stromqualität und den Funktionszustand von Geräten der Nieder- und

Mittelspannungsverteilung und hilft so Unternehmen mit mehreren kleinen oder mittelgroßen Standorten wie Fabriken, Gewerbegebäuden und Rechenzentren dabei, ihren Stromverbrauch zu optimieren und Ausfallzeiten zu minimieren.

Die Module der digitalen Lösung sind zusammen oder getrennt erhältlich. Die Überwachung kann auf einzelne Betriebsmittel und/oder Teilsysteme wie einen Aufzug, ein einzelnes HLK-System (Heizung, Lüftung, Klima) oder eine Produktionslinie heruntergebrochen werden. Dies bietet Nutzern die Möglichkeit, informierte Entscheidungen zu treffen, um den Energieverbrauch zu senken, ungeplante Ausfallzeiten zu verhindern und vorausschauende Wartungsstrategien zu implementieren, die eine Erkennung und proaktive Behandlung von Problemen ermöglichen, bevor diese eskalieren.

ABB Ability™ Energy Manager

ABB Ability™ Energy Manager bietet einen echten Mehrwert für Anlagen und Standorte durch die Überwachung elektrischer Systeme. Dabei liefert die Lösung klare Verbrauchsinformationen, die dem Nutzer dabei helfen, Verluste zu vermeiden und die Energieeffizienz zu verbessern.

Da jede Anlage unterschiedliche Energieanforderungen und -ziele hat, nutzt ABB Ability™ Energy Manager konfigurierbare Widgets, um verschiedenste Kundenbedürfnisse zu erfüllen. So können Unternehmen ihren Energieverbrauch über einen wählbaren Zeitraum hinweg überwachen und den Verbrauch verschiedener Anlagen über mehrere Standorte hinweg vergleichen. Zudem können Parameter, Geräte, Betriebsarten und Zeiträume zur Verfolgung spezifischer Leistungstrends konfiguriert werden.

Berichte sind vollständig an die Bedürfnisse des Kunden anpassbar und können per E-Mail empfangen werden. Darüber hinaus bietet das System automatisierte Benachrichtigungen, die Kunden rund um die Uhr über den Status ihrer Anlagen informieren. Unterm Strich bieten die in ABB Ability™ Energy Manager enthaltenen Funktionen viele Vorteile im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Betrieb und Performance.

So können Kunden durch Erkennung versteckter Energieabflüsse und Beseitigung von Verlusten ihre Effizienz um bis zu 30 Prozent erhöhen. Anlagen profitieren außerdem von niedrigeren Energiekosten und weniger ungeplanten Stillständen. Dabei ist der Energy Manager einfach zu installieren und in Betrieb zu nehmen und kann von einem einzelnen Standort bis hin zu Multi-Facility-Systemen skaliert werden.

VIKING ANALYTICS

Die Vision von Viking Analytics [4] ist es, allen Industriedienstleistern einschließlich Wartungsfirmen, OEMs und Systemintegratoren die zuverlässige Überwachung von mehr Maschinen zu ermöglichen. Die proprietäre Lösung von Viking priorisiert die Maschinen, die Aufmerksamkeit benötigen, und liefert relevante Erklärungen für die Priorisierung. Anhand der Prioritätsliste können Experten Feedback geben und Maßnahmen empfehlen, die von der Lösung gelernt werden. Mit der Lösung von Viking können Dienstleister eine zuverlässige Fernüberwachung mit weniger Fehlalarmen und ohne Inhouse-KI-Teams anbieten.



Maximize Machine Uptime and Performance with AI Assisted Vibration Analysis (Website von Viking Analytics)

02

TALLARNA

Tallarna [5] ist ein preisgekrönter Anbieter von Climate-Tech-Lösungen für Gebäude. Das Unternehmen führt Datenanalysen, Leistungsgarantien und effiziente Finanzierung zusammen und macht umfangreiche Dekarbonisierungsprojekte zügig umsetzbar. Tallarna arbeitet mit großen privaten und gewerblichen Vermietern, Energieinfrastrukturentwicklern und Technologieanbietern zusammen, um das Erreichen der Klimaneutralität voranzutreiben. Das Unternehmen wurde kürzlich von PwC und der Universität Cambridge zu einem der „20 interessantesten Start-ups im Bereich KI“ gewählt.

03

Leistungstrends und Alarmzuständen ermöglicht die Lösung eine zustandsbasierte und vorausschauende Wartung, die Ausfallzeiten und Betriebskosten deutlich reduziert.

Das System kann auf jeden Kunden und Standort zugeschnitten werden. Jeder Nutzer erhält ein vollständiges Bild über den Funktionszustand seiner angeschlossenen Anlagen mit klaren Kategorisierungen für geeignete Maßnahmen von „sehr schlecht“ (d. h. größtenteils ausgefallen, dringende Maßnahmen erforderlich) bis „sehr gut“ (d. h. funktioniert einwandfrei, keine Maßnahmen erforderlich). Dies kann in verschiedenen Berichten zusammengefasst werden, um Unternehmen eine bessere Vorstellung über die Performance ihrer Anlagen zu vermitteln und die Erkennung wichtiger Trends zu ermöglichen.

Durch die Implementierung dieses Systems können Kunden bis zu 40 Prozent ihrer Wartungskosten einsparen und bis zu 30 Prozent der wartungsbedingten Eingriffe vor Ort vermeiden [3]. Durch die Digitalisierung elektrischer Anlagen und die Optimierung der Wartungszyklen kann zudem die Lebensdauer der Anlagen verlängert und deren Umweltauswirkung reduziert werden. Tatsächlich können 50 Prozent der elektrischen Betriebsmittel wie Metallschränke, Stahlplatten und Sammelschienen – Produkte mit einem großen CO₂-Fußabdruck – immer weiterverwendet werden und brauchen nicht ausgetauscht werden, wenn Komponenten wie Leistungsschalter regelmäßig überwacht, gewartet und modernisiert werden.

Das Beste aber ist, dass sich die elektrische Infrastruktur einschließlich Schaltanlagen und anderen Geräten mithilfe von Plug-&-Play-Kits schnell digitalisieren lässt, was einen schnellen Anschluss an die Cloud und eine schnelle Nutzung von ABB Ability™ Asset Manager ermöglicht. Genau wie der Energy Manager kann auch dieses System problemlos für mehrere Standorte skaliert werden.

Skalierbare Lösungen

Die Anwendungen von ABB Ability™ Energy and Asset Manager sind als stetig wachsendes Ökosystem konzipiert, das um neue Lösungen ergänzt werden kann. Mithilfe von Programmierschnittstellen (Application Programming Interfaces, APIs) lassen sich die Fähigkeiten des Systems ebenso rasch erweitern, wie sich die Technologie entwickelt. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Partnerschaft von ABB mit Viking Analytics, einem schwedischen Startup, das 2020 die ABB Electrification Startup Challenge gewonnen hat →02. Es ist vorgesehen, die fortschrittliche KI-gestützte Analyse-Engine von Viking Analytics in ABB Ability™ Asset Manager zu integrieren, um

— 02 Über Viking Analytics.

— 03 Über Tallarna.

ABB Ability™ Asset Manager

ABB Ability™ Asset Manager ermöglicht auf ähnliche Weise die Analyse von Gerätedaten über mehrere Kundenanlagen hinweg und bietet einen detaillierten Echtzeit-Einblick in das Verhalten der elektrischen Systeme sowohl im Niederspannungs- als auch im Mittelspannungsbereich. Durch Überwachung von Anlagenzuständen,

04 Über OKTO GRID.

die automatische Erkennung von „unsichtbaren“ Zuständen oder Zuständen vor einem Ausfall für elektrische Betriebsmittel zu ermöglichen.

Die KI-Engine arbeitet mit ABB Ability™ Asset Manager zusammen und ergänzt das System um eine fortschrittliche Analytik, die es Unternehmen ermöglicht, Fehler in ihren elektrischen Anlagen auf eine deutlich granularere Weise vorherzusehen und zu verhindern. Dies macht es für sie einfacher, teure Ausfälle zu verhindern, Wartungshandlungen effizient zu planen und die Verfügbarkeit zu maximieren.

References

[1] Solarwinds: „Average cost of downtime per industry“. Verfügbar unter: <https://www.pingdom.com/outages/average-cost-of-downtime-per-industry/> (abgerufen am 10.06.2024).

[2] EPA Energy Star Broschüre. Verfügbar unter: https://www.energystar.gov/ia/partners/publications/pubdocs/C+1_broschure.pdf (abgerufen am 10.06.2024).

[3] ABB: „Data center case study“. Verfügbar unter: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AK-K107991A1983&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (abgerufen am 10.06.2024).

[4] ABB: „ABB invests in artificial intelligence startup Viking Analytics“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/99193/abb-invests-in-artificial-intelligence-startup-viking-analytics> (abgerufen am 10.06.2024).

[5] ABB: „ABB invests in climate tech start-up Tallarna“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/97259/abb-invests-in-climate-tech-start-up-tallarna> (abgerufen am 10.06.2024).

[6] ABB: „ABB invests in OKTO GRID to digitalize the energy grid and extend life of key components“. Verfügbar unter: <https://new.abb.com/news/detail/98887/abb-invests-in-okto-grid-to-digitalize-the-energy-grid-and-extend-life-of-key-components> (abgerufen am 10.06.2024).

Eine der bisher erfolgreichsten Integrationen im Zusammenhang mit ABB Ability™ Energy Manager erfolgte in Zusammenarbeit mit Tallarna →03, einem in Großbritannien ansässigen Climate-Tech-Startup, das einen innovativen Ansatz für Projekte zur Dekarbonisierung großer Immobilienbestände und Energieinfrastrukturen entwickelt hat. Mithilfe KI-gestützter Datenanalysen erhalten Kunden auf einer einzigen Plattform einen Überblick über die Machbarkeit von Energieoptimierungslösungen, verfügbare Leistungsversicherungen und Fremdfinanzierungsquellen.

Das obige Beispiel zeigt, dass sich das Streben von ABB nach einem hohen Kundennutzen nicht auf die eigenen Entwicklungsressourcen beschränkt, sondern Partnerschaften mit Startups einschließt, die durch Kommerzialisierung ihrer Innovationen auf dem ABB Ability™ Marketplace zur Erweiterung des ABB-Angebots beitragen können.

Ständige Weiterentwicklung

Mit fortschreitender Entwicklung der Energiewirtschaft werden auch die Lösungen des ABB Ability™ Energy and Asset Manager weiterentwickelt. Dies erfolgt nicht nur durch die Integration neuer Anwendungen, sondern auch durch ständige Verbesserung der Backend-Infrastrukturen.

Im Hinblick auf die Anwendungsentwicklung ist die Einführung zusätzlicher Funktionalitäten, insbesondere im Bereich Asset-Management, geplant. Dazu gehören durchgängige Asset-Management-Lösungen für ganze Umspannwerke, die den Mittelspannungsbereich, Niederspannungsbereich und Transformatoren umfassen – eine häufige Anfrage von Kunden. Um den wachsenden Bedarf in diesem Bereich zu decken, arbeitet ABB mit dem auf Überwachungslösungen für Transformatoren spezialisierten Unternehmen OKTO GRID →04, zusammen. Die einzigartige Sensortechnologie von OKTO GRID ist nicht invasiv – das Überwachungsgerät wird einfach magnetisch an der Transformatoroberfläche befestigt, und die Daten werden praktisch sofort in die Cloud

OKTO GRID

Das Ziel von OKTO GRID [6] ist es, Transformatoren zu digitalisieren, um neue Energiequellen und einen steigenden Energieverbrauch zu bewältigen. Dank der nicht invasiven Sensortechnologie kann jeder Transformator in weniger als zehn Minuten und ohne Werkzeug mit einer digitalen Schnittstelle ausgerüstet werden. Der Zugang zu den Leistungsdaten des Transformators ermöglicht die Überwachung, Vorhersage und Reaktion auf Engpässe und reduziert die Kosten für das Anlagenmanagement.



Bringing transformers online for the Energy Transition (Website von OKTO GRID)

04

übertragen. Die Partnerschaft bietet ABB die Möglichkeit, eine umfassende Überwachungslösung für Transformatoren anzubieten.

Im Bereich Energiemanagement arbeitet ABB mit mehreren Startups zusammen, um die vorhandenen Energieanalyse- und Optimierungsfunktionen zu erweitern und Kunden die Möglichkeit zu bieten, Audits auf der Grundlage vordefinierter Standards durchzuführen.

Der Bereich Asset- und Energiemanagement entwickelt sich rasch weiter, und Unternehmen, die ihre physische Infrastruktur in den kommenden Jahren nicht digitalisieren, werden es immer schwerer haben, mit ihren Mitbewerbern Schritt zu halten. ABB-Kunden sind auf der sicheren Seite, denn ABB entwickelt ihre digitalen Lösungen nicht nur kontinuierlich weiter, sondern sichert sich und ihren Kunden durch strategische Partnerschaften mit innovativen Startups den Zugang zu zukunftsweisenden Lösungen, die ein neues Maß an Betriebs- und Energieeffizienz ermöglichen. •

Diesen Artikel teilen





Kavitation

In mehreren Artikeln über das ABB Dynafin™-System in dieser Ausgabe der ABB Review ist von Kavitation und ihrer Bedeutung im Schiffbau die Rede. Doch was ist Kavitation genau und warum kann sie für schiffstechnische Systeme schädlich sein?



Anthony Byatt
Externer Autor

Kavitation ist ein strömungsdynamisches Phänomen, bei dem sich in einer Flüssigkeit Dampfblasen bilden und implodieren, wenn der lokale Druck unter den Dampfdruck fällt. Dies passiert, wenn eine Flüssigkeit wie zum Beispiel Wasser eine rasche Druckveränderung erfährt, was typischerweise in Bereichen mit hohen Geschwindigkeits- oder Druckgefällen der Fall ist. Durch das Entstehen und Kollabieren der Blasen kommt es zu starken Stoßwellen, die erhebliche negative Auswirkungen auf Schiffe und insbesondere deren Propeller haben können.

Bei Schiffspropellern bilden sich die Blasen dadurch, dass auf der Rückseite der Flügel Bereiche mit geringem Druck entstehen, wenn sie sich mit hoher Geschwindigkeit durchs Wasser bewegen.

Mögliche Auswirkungen

Tatsächlich sind die meisten Schiffspropeller so konzipiert, dass sie Kavitation zulassen, da sich so eine höhere Effizienz erreichen lässt.

Dazu muss die Kavitation in Form einer stabilen Schicht auftreten, die sich gleichmäßig über die Flügelspitze bewegt. Ist die Kavitation instabil, kann es zu Erosion kommen: Kollabieren Dampfblasen in der Nähe der Propelleroberfläche, setzen Sie Energie in Form von kleinen Flüssigkeitsstrahlen frei, die hohe Geschwindigkeiten erreichen. Diese sogenannten Mikrojets können mit enormer Kraft auf die Materialoberfläche treffen und Lochfraß und Erosion verursachen. Mit der Zeit kann dies die Integrität der Propellerflügel schwächen, was die Leistung mindert und die Wartungskosten für Schiffsbetreiber erhöht.

Darüber hinaus können sich auch kavitationsbedingte Vibrationen negativ auf die strukturelle Integrität des Propellers und des Antriebssystems auswirken. Die von den kollabierenden Dampfblasen verursachten Druckimpulse breiten sich in der umgebenden Flüssigkeit aus und bringen die Propellerflügel und andere Komponenten des Antriebssystems zum Vibrieren, was im Laufe der Zeit zu Ermüdung und schließlich zum Versagen führen kann. Zudem können die durch Kavitation entstehenden Geräusche empfindliche Meereslebewesen stören und den Komfort und die Sicherheit von Schiffsbesatzungen und Passagieren beeinträchtigen.

Kavitation mindern

Ingenieure nutzen verschiedene Materialien und Konstruktionsverfahren, um die negativen Auswirkungen von Kavitation auf Propeller zu mindern. Dazu gehören modifizierte Flügelprofile ebenso wie kavitationsbeständige Werkstoffe. Die in dieser Ausgabe der ABB Review beschriebenen numerischen Strömungssimulationen (CFD-Simulationen) sind ein gutes Beispiel dafür, wie Ingenieure Propellerdesigns analysieren und optimieren, um kavitationsbedingte Leistungsverluste zu minimieren.



**Buzzwords
entschlüsselt**

Kavitation ist ein komplexer strömungsdynamischer Effekt mit erheblichen Auswirkungen auf Schiffsantriebssysteme. Während Kavitation unter bestimmten Bedingungen die Antriebs-effizienz erhöhen kann, sind die Auswirkungen in Form von Erosion, Vibrationen und Geräuschen größtenteils negativ und führen mit der Zeit zu einer Verschlechterung der Leistungsfähigkeit

Fortschrittliche Konstruktionsverfahren sichern eine optimale Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit.

und Integrität. Das ABB Dynafin-Team hat viel Zeit und Mühe investiert, um die Mechanismen der Kavitation und deren Auswirkungen vollständig zu ergründen. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die fortschrittlichen Konstruktionsverfahren und Technologien, die die optimale Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit des ABB Dynafin-Antriebs sichern. •

Diesen Artikel teilen



ABONNEMENT

Abonnieren

Wenn Sie an einem Abonnement interessiert sind, wenden Sie sich bitte an die nächste ABB-Vertretung, oder bestellen Sie die Zeitschrift online unter abb.com/abbreview oder über den QR-Code rechts. Sie können zwischen der gedruckten und der digitalen Ausgabe wählen. Abonnenten der digitalen Ausgabe werden per E-Mail über neue Ausgaben und aktualisierte Inhalte informiert.

Achtung: Wenn Sie vor dem 1. August 2024 die Druckausgabe oder die E-Mail-Benachrichtigung abonniert haben, müssen Sie Ihr Abonnement erneuern, um die ABB Review weiterhin zu erhalten.

ÜBER ABB REVIEW

Erscheinungsweise

Die ABB Review erscheint seit 1914; aktuell viermal pro Jahr auf Englisch, Deutsch und Chinesisch und wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind.

Unser Ziel

Das Ziel der ABB Review ist es, Kunden auf objektive, permanente, vertrauenswürdige und präzise Weise über innovative Lösungen und Errungenschaften sowie neueste Ergebnisse aus der Forschung und Entwicklung von ABB zu informieren.

ABB Review



Abonnieren



Nachdruckanfrage



Editorial Board

Bernhard Eschermann

Chief Technology Officer,
ABB Process Automation

Paul Singer

Chief Technology Officer,
ABB Electrification

Niclas Sjostrand

Chief Technology Officer,
ABB Robotics

Panu Virolainen

Chief Technology Officer,
ABB Motion

Margarita Sjursen

Head of External Communications,
ABB Process Automation

Mark Curtis

Global internal content and leadership communications manager,
ABB Electrification

Yasmine Voegelé

Head of Product Communications, Robotics & Discrete Automation

Eric Prud'Homme

Head of External Communications,
ABB Motion

Amina Hamidi

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

Laura Villaescusa

Head of Content & Digital Communications

James Macaulay

Senior Director – Communications & Thought Leadership

Andreas Moglestue

Chief Editor,
ABB Review
andreas.moglestue@ch.abb.com

Michelle Kiener

Managing Editor,
ABB Review

Herausgeber und Copyright © 2024

Die ABB Review wird herausgegeben von: ABB Switzerland Ltd Group Technology Management
Bruggerstrasse 66
5400 Baden, Schweiz
abb.review@ch.abb.com

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

Layout

Publik. Agentur für Kommunikation GmbH
Mannheim,
Deutschland

Druck

Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
Dornbirn, Österreich



Übersetzung

Thore Speck
Flensburg,
Deutschland

Haftungsausschluss

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

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

03/2024 ist die 906. Ausgabe der ABB Review.


ISSN: 1013-3119

abb.com/abbreview

**Nächste Ausgabe
04/2024
50 Jahre
Robotik**

Sie haben das Ende erreicht.

Sorgen Sie dafür,
dass es weitergeht.



[Wo ist
meine
Review?]



Die ABB Review startet eine neue Verteilerliste. Die bisherigen Listen (für Druck und E-Mail) werden eingestellt. Wenn Sie jetzt nicht handeln, endet Ihr Abonnement am Ende des Jahres. Bitte nutzen Sie den QR-Code links oder besuchen Sie abb.com/abbreview, um sich neu zu registrieren.

