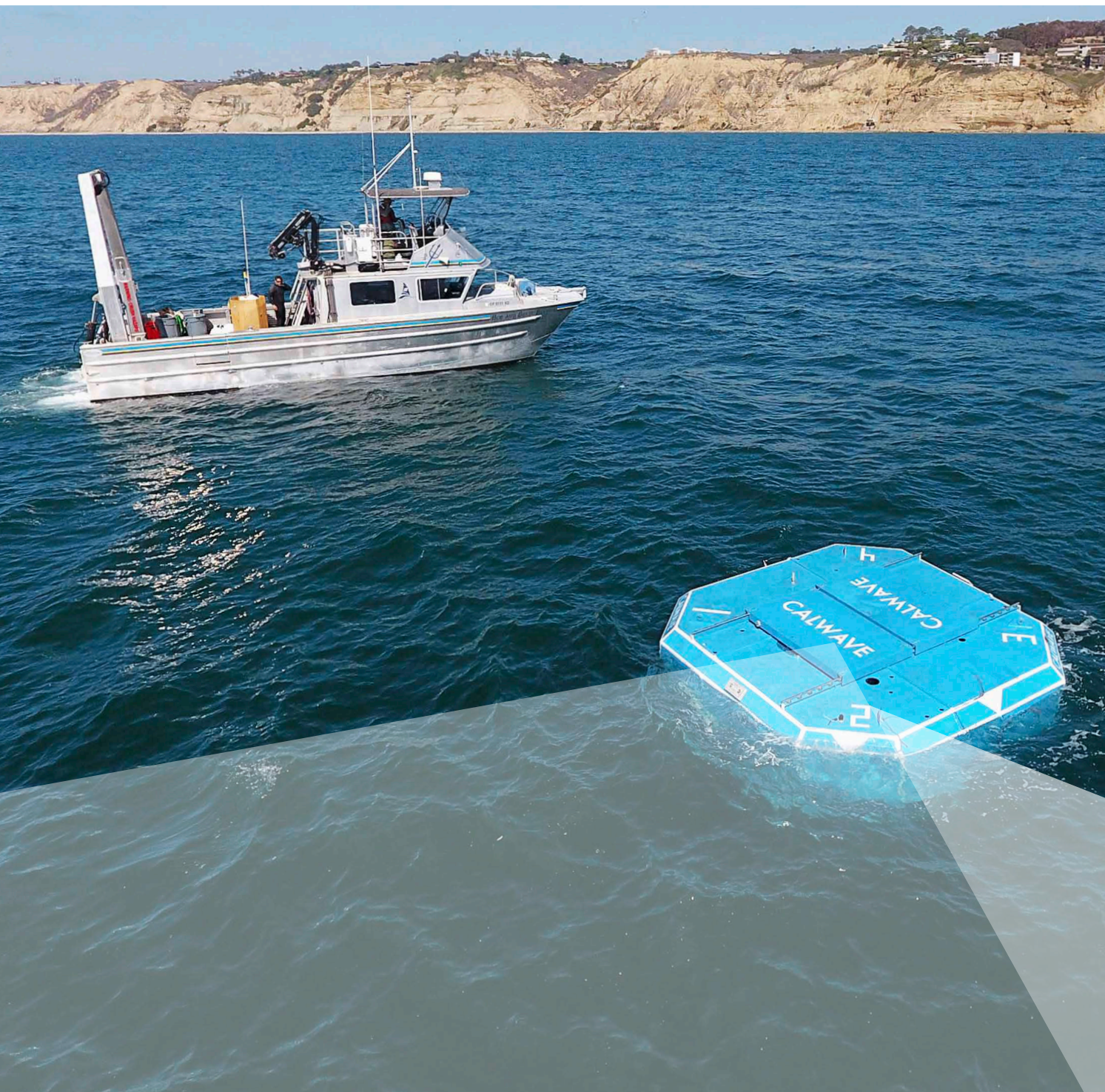




Strom aus Wellenenergie

# MEER POTENZIAL



Diesen und weitere interessante Beiträge finden Sie in unserem Kundenmagazin

**real.times**

[bachmann.info/download-center](http://bachmann.info/download-center)



Strom aus Wellenenergie

# MEER POTENZIAL

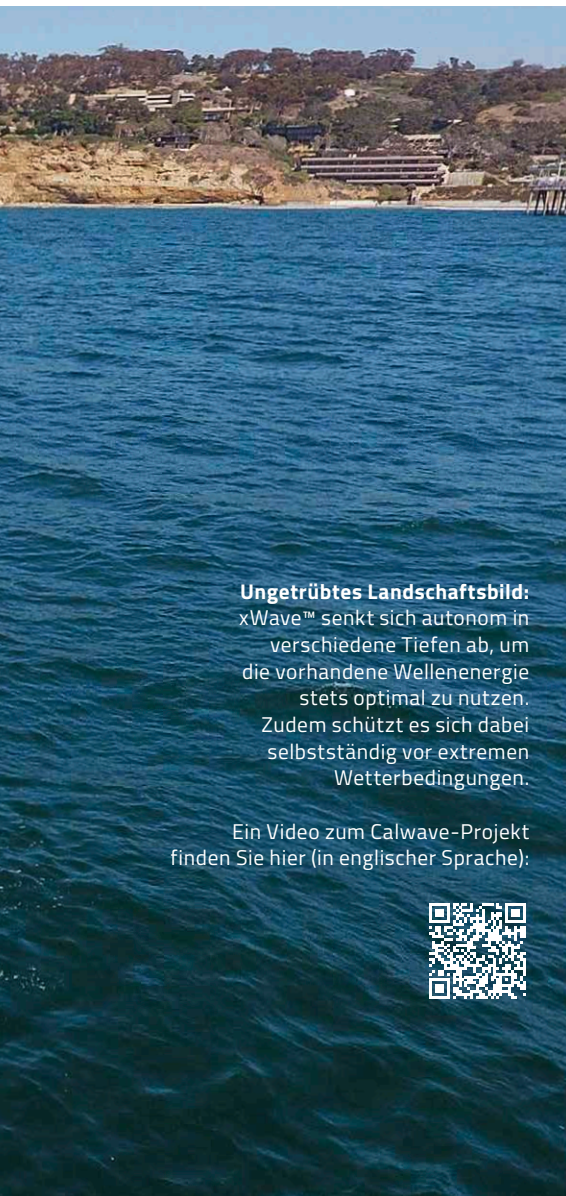
Wellenenergie ist die größte ungenutzte erneuerbare Energiequelle. CalWave aus Kalifornien möchte das ändern: Das Ziel des Unternehmens ist es, ein Viertel des weltweiten Energiebedarfs zuverlässig durch die beständige Energie von Meereswellen abzudecken. Im Juli 2022 beendete das Unternehmen ein äußerst erfolgreiches Pilotprojekt seines xWave™-Systems vor der Küste von San Diego. Auch beim nächsten Prototyp setzt man auf die Applikationsentwicklung mit M-Target for Simulink® sowie Hardware von Bachmann.





## Riesiges Potenzial

Wellenbewegungen im Meer enthalten hydrokinetische Energie. Und davon eine beachtliche Menge: Nach Angaben des Ocean Energy Council setzt eine Welle, die auf einer Länge von einer Meile entlang der Küste bricht, ganze 35.000 PS an Leistung frei. Einige Kilometer vor der Küste verfügen Wellen über das größte Energiepotenzial. Mit im Meeresboden verankerten Wellenenergiekonvertern lässt sich dieses nutzen. Sie wandeln die Energie in Strom um und transportieren ihn dann über ein Kabel zur Küstenregion.



**Ungetrübtes Landschaftsbild:** xWave™ senkt sich autonom in verschiedene Tiefen ab, um die vorhandene Wellenenergie stets optimal zu nutzen. Zudem schützt es sich dabei selbstständig vor extremen Wetterbedingungen.

Ein Video zum Calwave-Projekt finden Sie hier (in englischer Sprache):



Gemäß der U.S. Energy Information Administration beträgt das jährliche Energiepotenzial an den Küsten der Vereinigten Staaten 2.64 Billionen kWh. „Insgesamt könnte damit rund ein Drittel des Strombedarfs der Vereinigten Staaten allein durch Wellenenergie gedeckt werden“, sagt Thomas Boerner, Chief Technology Officer bei CalWave Power Technologies, Inc.

## Perfekte Ergänzung

Gegenüber anderen erneuerbaren Energieformen ist Wellenenergie konstanter und vorhersehbarer: „Das Tag-Nacht-Profil von Wellenenergie sieht sehr ähnlich aus, in der Regel gibt es keine Schwankungen, die mit dem Tag-Nacht-Zyklus korrelieren und die saisonalen Schwankungen sind im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien weniger signifikant“, so Boerner.

Das Produktionsprofil von Wellenenergie ist überdies antizyklisch zu dem von Wind- und Solarenergie. Während mit Wind in den Sommermonaten am meisten Strom produziert wird, sind Wellen in den Wintermonaten am stärksten. Damit stellt Wellenenergie die ideale Ergänzung zu bestehenden erneuerbaren Energieformen dar. Mit seinem xWave™-System als Wellenenergiekonverter (WEC) möchte CalWave dieses Potenzial bestmöglich nutzen.

## Schützendes Wasser

Marcus Lehmann, der Gründer von CalWave, war bereits 2012 von der Wellenenergie fasziniert. Inspiriert vom schlammigen Meeresboden, der diese effektiv absorbiert, baute er das erste Gerät zur Umwandlung von Wellenenergie in Strom. Mit Prototypen im Wellentank der Universität in Berkley wurde weiter experimentiert, erste Patente folgten. Nach der Gründung von CalWave arbeitete das Unternehmen vier Jahre lang eifrig am Konzept des

Systems. Leistungselektronik, Regelung und Antriebsstrang wurden stetig weiterentwickelt. Auch am Automatisierungs- und SCADA-System wurde parallel gefeilt.

Die COVID-Pandemie habe die Beschaffung, Tests und Integration der Hardware für den ersten Feldtest erschwert. Auch die zeitliche Koordination aller beteiligten Parteien sei herausfordernd gewesen. „Dank Bachmann hatten wir zum Glück äußerst kurze Vorlaufzeiten bei der Beschaffung der Hardware- und Software-Komponenten für das Automatisierungssystem. Zudem hat das Bachmann-Team die Automatisierungsanforderungen im Detail mit uns durchgedacht und uns gute Tipps gegeben, wie wir die Systeme optimal zusammensetzen können. Das war sehr, sehr viel wert“, blickt der Chief Technology Officer auf die Entwicklungszeit zurück.

Aber auch die Bedingungen am Einsatzort, dem offenen Meer, stellten die Entwickler vor eine Herausforderung: Das Design von xWave™ sollte 50-Jahres-Stürmen standhalten. Bei starken Stürmen drohen Wellen zerstörerische Ausmaße anzunehmen. Um an der Oberfläche gegen diese hohen Kräfte zu bestehen, wären hohe Materialaufwände notwendig. CalWave betreibt sein System deshalb vollständig unter Wasser und entgeht damit diesen potenziell schädigenden Wellen. Darüber hinaus ist der Wellenenergiekonverter mit einzigartigem Lastmanagementmechanismen ausgestattet: Abhängig von der unmittelbaren Wellenausbreitung lässt sich xWave™ relativ zum Meeresgrund senken oder anheben und so die Wellenenergie in der für die Absorption idealen Tiefe nutzen. „Solche Lastmanagementmechanismen wurden von Beginn an gezielt in das xWave™-Konzept integriert, was eine hocheffiziente Auslegung mit deutlichem Kostenvorteil ermöglicht“, freut sich Thomas Boerner.

## Maximale Performance

Mehrere Antriebsstränge produzieren Strom aus der wellenbedingten relativen Bewegung des Aufbaus zum Meeresboden. Ziel war es, möglichst jede Welle zu nutzen. Da sich die gesamte Plattform unterhalb der Wasseroberfläche befindet, wird die Wellenenergie über vieldimensionale Freiheitsgrade verwertet und damit ein hoher Wirkungsgrad erreicht. Zusätzlich kann das System auch die Geometrie des Absorberkörpers verändern. Dadurch lässt sich die Leistung des skalierbaren Systems zusätzlich optimieren. „Durch diese Mechanismen können wir nicht nur den Antrieb im optimalen Betriebsbereich halten, sondern die gesamte Einheit – ganz ähnlich zur Vorgehensweise in der Windenergie“, erklärt der Ingenieur.

## Erfolgreicher Pilot

Im September 2021 startete einen halben Kilometer vor der Küste von San Diego ein Pilotprojekt, um das System unter realen Bedingungen ausgiebig zu prüfen. Es war der erste Langzeitversuch zur Nutzung von Wellenenergie in Kalifornien.

CalWave war es ein großes Anliegen, ihr System rund um die Uhr autonom in Betrieb zu halten. „Verfügbarkeit ist für uns das wichtigste Thema“, so der CTO und ergänzt: „Mit der Bachmann-Steuerung konnten wir mehr als 99% Verfügbarkeit des Gesamtsystems während des 10-monatigen Pilotprojekts unter Realbedingungen erreichen.“

Während des Projekts seien keinerlei Eingriffe nötig gewesen. „Unsere Mechanismen zur Antriebsregelung, Leistungsoptimierung und Diagnose haben sich als zuverlässig und robust erwiesen und arbeiteten völlig autonom“, erklärt Boerner. Aufgrund der hohen Zuverlässigkeit entschied sich CalWave, das Projekt nach den geplanten sechs Monaten noch um vier weitere zu verlängern.

Das xWave™-System mit 15 kW Nennleistung wird über eine Bachmann-Hauptstation mit MC220-Prozessor-Modul gesteuert, die über FASTBUS mit mehreren abgesetzten Unterstationen für die Antriebe verbunden ist. Die Kommunikation zu den Antrieben erfolgt über EtherCAT. Das GM260-Netzerfassungsmodul misst zuverlässig und schnell die relevanten Drehstromgrößen. Die Prozessorlast wurde letztlich geschickt auf die vier Kerne der CPU verteilt. Boerner zeigt sich beeindruckt: „Obwohl für die komplexen Regelungen mehr als 1.000 Variablen zwischen den parallellaufenden Applikationsprogrammen ausgetauscht werden, übertraf die Systemlast der MC220-CPU selbst bei Nutzung eines einzelnen der vier verfügbaren Rechenkerne nie die 50-Prozent-Marke.“

CalWave hatte den aktuellen Status der Pilotanlage dabei stets im Blick: Mit dem Software-Oszilloskop Scope3 wurden die Systemdaten aufgezeichnet und historisiert. Die Visualisierung mit webMI pro ermöglichte von jedem beliebigen Ort aus eine umfassende Anlagendiagnose und die gezielte Steuerung aller wichtigen Parameter. „Dank des 12-stündigen Daten-Samplings aller relevanten Signale konnten wir die Vorgänge auf der Plattform ganz bequem und ohne Post-Processing verfolgen“, ist Boerner erfreut. „Eine detaillierte Analyse mit hoher Datenrate bleibt natürlich weiterhin im Post-Processing möglich.“

## Schwierige Entwicklungsbedingungen

Der Weg bis zum Pilotprojekt sei aus entwicklungs-technischer Sicht jedoch anspruchsvoll gewesen, wie der CTO betont: „Ein neuartiges System mit vielen Komponenten im großen Maßstab und unter kontrollierten Bedingungen zu testen, ist aufwändig. Es gibt sehr viele Effekte, die sich gegenseitig beeinflussen und mitunter verstärken. Zudem musste das System bereits an Land so gut als möglich abgestimmt

werden, denn Offshore-Tests sind sehr teuer. Die Entwicklung und Optimierung von Regelstrategien für den Antriebsstrang sind dafür gute Beispiele.“

Während der Testphase optimierte das Team das dynamische System mit umfangreichen Simulationen weiter. Code generierten sie automatisch mit M-Target for Simulink® und konnten diesen zu jedem beliebigen Zeitpunkt über das Netzwerk auf die Steuerung laden. Das sei entscheidend gewesen, um xWave™ auf Herz und Nieren prüfen zu können (siehe Beitrag „Im Blickpunkt: Modellbasierte Entwicklung“ auf Seite 29).

Eine weitere Herausforderung stellte die Komplexität des Antriebsstrangs und der Steuerung sowie die Signal- und Datenorganisation dar. Hier sei es sehr hilfreich gewesen, dass die Bachmann-Steuerung neben mit Simulink® kompiliertem Code auch die Programmiersprache C++ unterstützt. „Diese Parallelität ist schon extrem stark. Wir haben keine andere Plattform gefunden, in der das so nahtlos integriert ist. Das war sehr hilfreich“, sagt Thomas Boerner.

## Die Entwicklung geht weiter

Als nächsten Schritt plant CalWave den Bau einer 100-kW-Version der xWave™-Architektur. Diese soll zwei Jahre lang in ›PacWave South‹ betrieben werden – der ersten akkreditierten, netzgekoppelten und genehmigten Testanlage für Wellenenergie auf offenem Meer in den USA. Über vorinstallierte Kabel sollen von dort aus 20 Megawatt Leistung in das lokale Netz auf dem Festland gespeist werden.

Hier möchte CalWave dann auch mit einem digitalen Zwilling arbeiten – ein Simulationsmodell, welches mit den Daten des echten Systems trainiert wird. Regelung und Simulationsmodell sollen dann in Echtzeit parallel laufen, und die Ergebnisse des realen Systems

## IM BLICKPUNKT: MODELLBASIERTE ENTWICKLUNG

mit denen der Simulation verglichen werden. „So können wir verschiedene Regelungskonzepte testen, bevor sie im realen System zum Einsatz kommen. Dieser datengetriebene Ansatz soll es uns schließlich auch ermöglichen, Systeme im Blick zu haben, die nicht mit Sensoren ausgestattet sind – und auch um xWave™ vorausschauend zu warten“, wagt Boerner einen Ausblick. Und dabei geht er sogar davon aus, dass er die dazu benötigte Rechenleistung parallel auf der MC220-CPU unterbringen wird.

Langfristiges Ziel ist die Erreichung netzdienlicher Leistungsklassen im Bereich von über einem Megawatt pro System. Auch wenn die Antriebssysteme dazu weiter skaliert werden, könne die Steuerungsarchitektur auf Basis des Bachmann-Steuerungssystems im Grunde 1:1 übernommen werden, wie Boerner festhält: „Dazu wollen wir in Zukunft auch ein Farm-Setting etablieren und die Einheiten bündeln.“ Aber auch Plattformen mit niedrigeren Nennleistungen wie die des Pilotprojekts haben eine Bedeutung für die Nutzung von Wellenergie. Sie könnten zukünftig beispielsweise als Energieversorgung für Offshore-Messstationen Einsatz finden.

### **CALWAVE POWER TECHNOLOGIES INC.**

- Gegründet 2014 in Oakland, Kalifornien
- Beschäftigt 7 Mitarbeitende
- Das Unternehmen möchte die Energie von Meereswellen nutzen, um einen zuverlässigen und kostengünstigen Zugang zu nachhaltig produziertem Strom zu ermöglichen

[www.calwave.energy](http://www.calwave.energy)

Calwave entschied sich für den Ansatz der modellbasierten Entwicklung mit Simulink®. So konnten sie bereits anhand des Simulationsmodells die wechselseitigen Beeinflussungen der Wellen mit den mechanischen und elektrischen Komponenten exakt untersuchen. Parallel dazu wurden in Simulink® auch die notwendigen Regelungsalgorithmen, die Signalverarbeitung sowie der Zustandsautomat für die Maschine entworfen. Dies ermöglichte es, die komplette Regelung der finalen Maschine in der Simulation zu testen und einen ›Proof of Concept‹ durchzuführen, noch bevor die ersten realen Komponenten verfügbar waren.

Mit M-Target for Simulink® konnten in Folge die Software-Applikationen für das Bachmann-Steuerungssystem direkt aus Simulink® heraus generiert werden und waren anschließend auf der Bachmann-Steuerung parallel zu den weiteren C++-Programmen abarbeitbar. Innerhalb des Simulink®-Steuerungs- und Regelungsprogramms sind die Sensor- und Aktorsignale direkt über die Bachmann-Hardwareblöcke angebunden. Auch der über EtherCAT verbundene Antriebsstrang bis hin zum Trigger eines Mailservers sind im Simulink®-Modell integriert.

Um möglichst flexibel zu sein, wurde das Simulink®-Steuerungs- und Regelungsprogramm in einzelne Teilapplikationen gekapselt. Dazu wurden z. B. die Signalerfassung, die Maschinenregelung, der Zustandsautomat und die Signalausgabe in eigene ›Referenced Models‹ gekapselt und einzeln abgenommen. Mit Hilfe des ›Model Builders‹, einem Block aus der M-Target-Bibliothek, wurden aus diesen Referenced Models eigenständige Bachmann-Softwaremodule generiert und auf der MC220-CPU installiert.

Diese Architektur erwies sich im weiteren Projektverlauf und während des Feldtests als entscheidender Vorteil. Er ermöglichte es CalWave, durch Nachladen einer neuen Software beispielsweise den bestehenden Regelungskern durch eine neuere, optimierte Variante zu ersetzen. Alle restlichen Software-Komponenten blieben von der Änderung unberührt. Die Anlage war dabei weiterhin in Betrieb, denn die Steuerung musste nicht neu gestartet werden.

### **Die Zukunft schon im Blick**

Zukünftig wird CalWave sein mit SimScape-Blöcken aufgebautes Maschinenmodell auf der Bachmann-Steuerung in Echtzeit simulieren. Damit soll das Modell als eigenes Softwaremodul parallel zum restlichen Steuerungs- und Regelungscode auf der Betriebssteuerung abgearbeitet werden.

Damit verspricht sich Calwave unter anderem entscheidende Vorteile für ihre Hardware-in-the-Loop-Tests (HIL). Gewisse Anlagenteile, wie beispielsweise der Antriebsstrang, werden real aufgebaut und über die I/O-Schnittstelle an das Bachmann-Automatisierungssystem angebunden. Physisch nicht vorhandene Komponenten werden dabei durch das Maschinenmodell simuliert.

In einer weiteren Ausbaustufe soll aus diesem Setup schließlich ein digitaler Zwilling entstehen, an welchem neue Regelungen, Konzepte für vorausschauende Instandhaltung oder auch virtuelle Sensoren getestet werden können.

**bachmann.**



**[www.bachmann.info](http://www.bachmann.info)**

© 11/2022 by Bachmann electronic | Technische Änderungen vorbehalten

