



## Weniger Energieeinsatz in der Karosseriefertigung

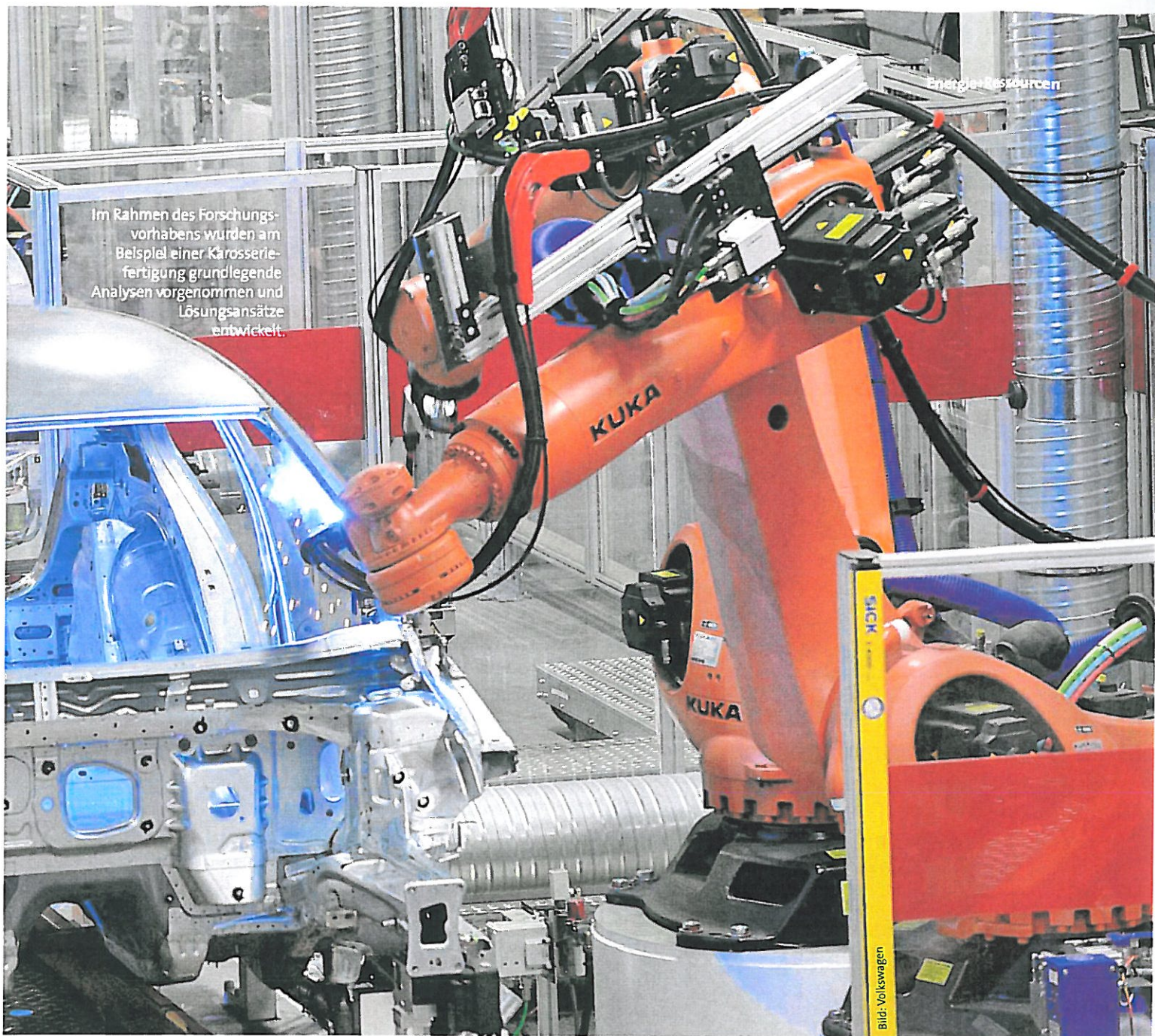
Wie kann während des Betriebs einer Anlage der Energieeinsatz bei konstanter Produktivität nachhaltig gesenkt werden? Eine Antwort auf diese Frage hat die Innovationsallianz Green Carbody Technologies. Am Beispiel einer Karosseriefertigung hat sie grundlegende Analysen vorgenommen und Lösungsansätze erarbeitet.

FRANK KNAFLA UND MARK RICHTER

Das nachhaltige Wirtschaften mit Energie und weiteren begrenzten Ressourcen ist eine der wichtigsten Herausforderungen der nahen Zukunft, denen sich die deutsche Industrie stellen muss. Vor diesem Hintergrund wird in der Innovationsallianz Green Carbody Technologies unter anderem an der Frage gearbeitet, wel-

che Lösungen während des Betriebs einer Produktionsanlage eine nachhaltige Reduzierung des Energieeinsatzes erlauben, ohne dass sich die Produktivität verschlechtert. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden am Beispiel einer Karosseriefertigung grundlegende Analysen vorgenommen und Lösungsansätze entwi-

ckelt. Die Untersuchung der Energieströme sowie des Verhaltens der verbauten Komponenten erfolgte auf Basis der detaillierten Erfassung des Energieeinsatzes in einer produzierenden Anlage, die der Projektpartner Volkswagen AG in Wolfsburg ausgewählt hatte. Anhand der Messaufzeichnungen eines Handling-Robo-



Im Rahmen des Forschungs-  
vorhabens wurden am  
Beispiel einer Karosserie-  
fertigung grundlegende  
Analysen vorgenommen und  
Lösungsansätze  
entwickelt.

ters soll das Verhalten der Anlage sowie der einzelnen dort installierten Geräte exemplarisch erläutert werden. Die Messung zeigt drei unterschiedliche Leistungsniveaus. Das höchste, an den Leistungsspitzen erkennbare Niveau tritt während der Bewegungen des Roboters im Betriebszustand Produktion auf. Der Amplitudenverlauf ist dabei abhängig von der geforderten Handling-Aufga-

Dipl.-Ing. Frank Knafla ist Master Specialist Energy Efficiency bei der Phoenix Contact Electronics GmbH in 31812 Bad Pyrmont; Dipl.-Ing. (FH) Mark Richter ist Gruppenleiter Maschinen- und Prozessinformatik am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in 09126 Chemnitz. Weiterführende Informationen: [www.greencarbody.de](http://www.greencarbody.de)

be mit den zugehörigen Verweilzeiten zum Schließen und Öffnen des Robotergriffers.

### Modell definiert verschiedene Betriebszustände

Die beiden anderen Betriebszustände sind durch wesentlich niedrigere Leistungsniveaus gekennzeichnet, die sich während der Wartezeit des Roboters auf einen erneuten Zyklusstart ergeben. Hier ist zu berücksichtigen, dass sich der Roboter in diesem Zeitraum entweder im Zustand „Produktionsbereit“ oder „Betriebsbereit“ befindet. „Produktionsbereit“ bedeutet das Halten der Position durch Regelung, wohingegen die Position beim

Zustand „Betriebsbereit“ durch eingefallene Bremsen bestehen bleibt. Die Leistungsniveaus in den beiden Zuständen unterscheiden sich, da die Haltekräfte in der Produktionsbereit-Phase elektrisch und in der Betriebsbereit-Periode mechanisch erzeugt werden. Die Robotersteuerung geht nach einer parametrisierten Zeit automatisch in den Zustand „Betriebsbereit“ über. Werden die Analysen der Zustände aus den gemessenen Energieströmen des Beispiels verallgemeinert, ist die Beschreibung eines allgemeingültigen Zustandsmodells für Anlagen und Komponenten möglich.

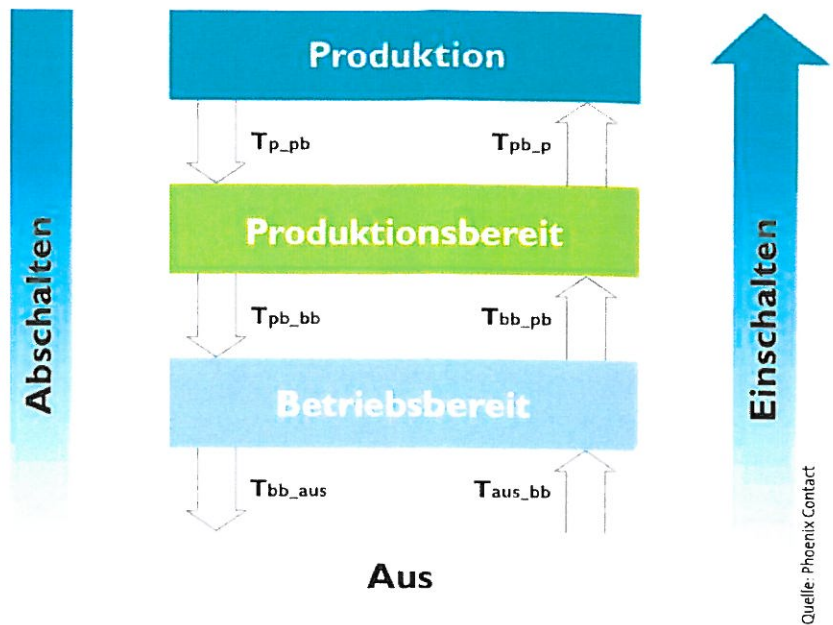
Das Zustandsmodell legt mindestens vier verschiedene Betriebszustände fest, die eine Anlage und die dort

verbauten Komponenten einnehmen können (Bild oben). Sie werden wie folgt definiert:

- Betriebszustand Produktion: Während der Fertigung sind alle Anlagenkomponenten im Nennbetrieb.
- Betriebszustand Produktionsbereit: Im Gegensatz zu anderen Anlagenkomponenten, die zum Beispiel auf Teile warten, ist der Teilnehmer aktiv, sodass er verzögerungsfrei in den Produktionsmodus umschalten kann.
- Betriebszustand Betriebsbereit: Bei kurzen Fertigungsunterbrechungen, beispielsweise während der Arbeitspausen, wechselt die Anlage in den Betriebsbereit-Zustand. Sämtliche Prozessgeräte sind auf ein energetisch niedrigeres Niveau abgesenkt. Sie können jedoch zeitgerecht in den Produktionsbereit-Zustand überführt werden und mit der Fertigung beginnen.
- Betriebszustand Aus: Der Aus-Zustand ist dadurch charakterisiert, dass die Ressourcen der Anlage während langer Produktionsunterbrechungen durch Leistungsschalter und Ventile von den Versorgungsnetzen getrennt werden. Als Voraussetzung für den Wechsel in diesen Zustand muss die Anlage geplant und automatisch wieder in den Produktionsbereit-Zustand versetzt werden können.

**Energie-Controller ermittelt Ab- und Einschaltstrategie**

Voraussetzung für die Anwendung des beschriebenen Zustandsmodells ist, dass die Anlagenkompo-

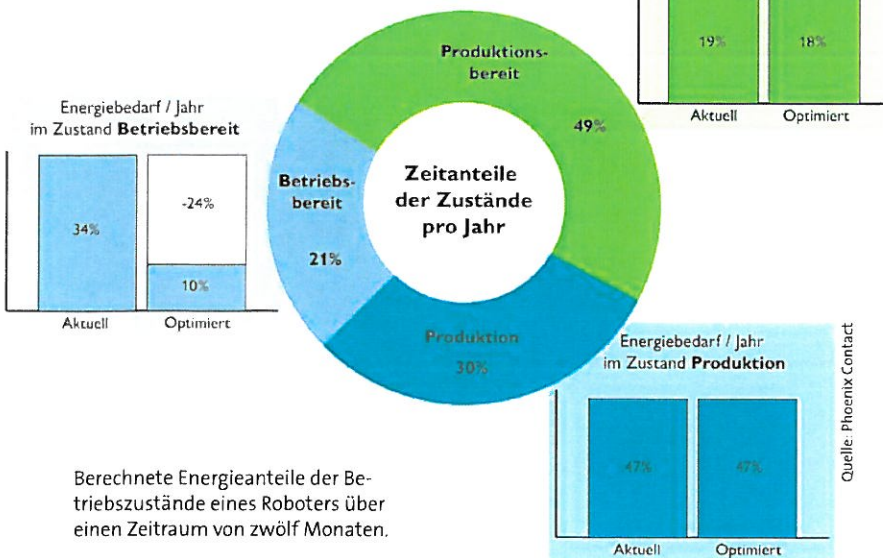


Allgemeines, vereinfachtes Zustandsmodell zur Beschreibung von Anlagen und Komponenten.

nenten unterschiedliche Zustände einnehmen können. Zur energiesensitiven Steuerung der Zustandswechsel muss zudem der geplante Produktionsablauf der Anlage bekannt sein. Diese Informationen können dem Energiemanagementsystem durch ein überlagertes Leitsystem zur Verfügung gestellt werden. Als wesentlicher Bestandteil des Energiemanagementsystems fungiert ein Energie-Controller, der die Anlage sowie ihre und die zugehörige technischen Halleninfra-

struktur in den jeweils energetisch minimal notwendigen Betriebszustand schaltet. Mit den Informationen des Leitsystems und unter Berücksichtigung des Fertigungsablaufs, des Zustandsmodells und der relevanten Kennwerte – also der Leistungsniveaus der Zustände, der erlaubten Transitionszeiten und der entsprechenden Transitionszeiten der Anlagenkomponenten – berechnet der Energie-Controller die optimale Ab- und Einschaltstrategie. Das Konzept ist mit der bekannten Start-Stopp-Automatik moderner Pkw vergleichbar. Beide Ansätze unterscheiden sich jedoch dadurch, dass der Motor nicht bei jedem Betätigen der Bremse sofort gestoppt wird. Die Start-Stopp-Automatik erhält vielmehr die Information, wann der Pkw wieder fahrbereit sein soll und der Motor gestartet werden muss. Diese Daten werden weiterverarbeitet. So lässt sich häufiges ineffizientes und zu Lasten der mechanischen Lebensdauer gehendes Schalten vermeiden. Im Gegensatz zum beschriebenen Prinzip hat der Energie-Controller Kenntnis, wie hoch der Anteil jeder installierten Komponente am gesamten Energieeinsatz der Anlage ist. Auf diese Weise können die Komponenten mit dem größten Einsparpotenzial prioritär geschaltet werden.

Hinsichtlich der definierten Betriebszustände hat die Analyse des



Berechnete Energieanteile der Betriebszustände eines Roboters über einen Zeitraum von zwölf Monaten.

betrachteten Roboters über den Zeitraum eines Produktionsjahres zu folgenden Ergebnissen geführt: Der Roboter arbeitete zu 29 % im Zustand „Produktion“ und war zu 49 % „Produktionsbereit“, was durch eine aktive Regelung charakterisiert wird.

22 % der untersuchten Zeit befand sich der Roboter im Zustand „Betriebsbereit“, wurde also mechanisch gebremst. Der Aus-Zustand ist nicht vorgekommen. Der Roboter kann aus dem Betriebsbereit-Zustand nahezu verzögerungsfrei in den Produktions-Zustand wechseln. Die Haltebremsen lassen sich somit erheblich früher aktivieren, sodass der Betriebsbereit-Zustand auch während der Fertigungsphase häufiger eingenommen werden kann. Mit Robotern moderner Bauart ist eine damit verbundene Erhöhung der Schaltspiele ohne Auswirkung auf deren Lebenszeit umsetzbar. Durch optimales Schalten ergibt sich für dieses Beispiel ein Einsparpotenzial von 13 % pro Jahr in Bezug auf den aktuell ermittelten Energieeinsatz (Seite 28, Bild unten).

### Weniger Energieeinsatz bei gleichbleibender Produktivität

Könnte die Druckluftversorgung des untersuchten Roboters in der produktionsfreien Zeit abgesperrt werden, würde sich der Druckluftbedarf beträchtlich verringern. Die Auswertungen der Messergebnisse legen dar,



Wirtschaft und Wissenschaft haben sich in der Innovationsallianz Green Carbody Technologies zusammengeschlossen, um die Energie- und Ressourcenschonung in der Automobilfertigung voranzutreiben.

dass der für die Bereitstellung der Ressource Druckluft notwendige elektrische Energieeinsatz in diesem Fall um 25 % niedriger wäre.

Die zur Bestimmung der Einsparmöglichkeiten genutzten Verfahren sind generell auf jede Anlagenkomponente übertragbar. Allerdings gelten die für den betrachteten Roboter gewonnenen konkreten Ergebnisse nur für diesen Anwendungsfall, können folglich nicht auf andere Komponenten projiziert werden. Dies vor dem Hintergrund, dass die Ergebnis-

se von zahlreichen Kennwerten wie dem Gewicht des zu bewegenden Bauteils abhängen. Die Analysen zeigen, dass die identifizierten Einsparpotenziale mit einer aktiven Energiemanagementlösung erschlossen werden können.

### Zusätzliche Instanz ermittelt Ein- und Ausschaltstrategien

Eine wesentliche Voraussetzung zur Erreichung des energetischen Optimums ist eine zusätzliche Instanz, die die unterschiedlichen Ein- und Ausschaltstrategien mit dem beschriebenen Zustandsmodell ermittelt. Zur Berechnung müssen Informationen über die fertigungs- und produktionsfreien Zeiten aus dem Leitsystem sowie die Schaltbedingungen der Betriebszustände der Anlagenkomponenten vorliegen. Die angestrebte Standardisierung der Beschreibung des Zustandsmodells der Anlagenkomponenten und der Schnittstellen zum Leitsystem trägt erheblich zur Strukturierung des Projektierungsprozesses bei. Neben dem fertigungsbedingten Anlagenablauf sind während der Projektierung die für die Anlage relevanten Infrastrukturen der Medienversorgung und Halle zu berücksichtigen, um den Energieeinsatz über den gesamten Lebenszyklus zu optimieren.

## 50 % weniger Energie- und Ressourceneinsatz

Wirtschaft und Wissenschaft haben sich in der Innovationsallianz Green Carbody Technologies zusammengeschlossen, um signifikante Neuerungen im Bereich der Energie- und Ressourcenschonung in der Produktionstechnik für die Automobilfertigung umzusetzen. Koordiniert wird der Technologieverbund von der Volkswagen AG und dem Chemnitzer Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU. Mehr als 60 Partner, die in 30 Teilprojekte involviert sind, verfolgen das Ziel einer kosten-, termin- und nun auch ressourcengesteuerten Karosseriefertigung, die 50 % weniger Energie- und Ressourceneinsatz benötigt. Als einmalig gilt dabei der ganzheitliche Ansatz unter Einbeziehung aller an der Prozesskette vom Coil bis zur lackierten Karosserie beteiligten Unternehmen. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept Forschung für die Produktion von morgen gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.