



Welche Lösungen während des Betriebs einer Produktionsanlage erlauben eine nachhaltige Reduzierung des Energie-Einsatzes, ohne dass sich die Produktivität verschlechtert? Mit dieser Frage beschäftigen sich die Partner der Innovationsallianz „Green Carbody Technologies“.

Frank Knafla, Mark Richter

Weniger Energie bei gleicher Produktivität

Das nachhaltige Wirtschaften mit Energie und weiteren begrenzten Ressourcen ist eine der wichtigsten Herausforderungen, denen sich die produzierende Industrie stellen muss. Sie tut dies unter anderem im Rahmen von Green Carbody Technologies, einer gemeinsamen Initiative produktivstechnischer Automobilzulieferer, Zulieferern von OEMs und der Stahlindustrie sowie von Fraunhofer-Instituten. Ziel ist es, die Fertigungspro-

zesskette am Beispiel der Fahrzeugkarosserie so zu optimieren, dass zukünftig Produktionsabläufe bei gleichem Output mit einem weit geringeren Energie-Einsatz und Ressourcenverbrauch realisierbar sind, als dies bisher möglich und Realität ist.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden in den vergangenen Monaten am Beispiel einer Karosseriefertigung grundlegende Analysen vorgenommen und Lösungsansätze

entwickelt. Die Untersuchung der Energieströme sowie des Verhaltens der verbauten Komponenten erfolgte auf Basis der detaillierten Erfassung des Energie-Einsatzes in einer Anlage, die der Projektpartner Volkswagen in Wolfsburg ausgewählt hatte. Anhand der Messaufzeichnungen eines Handling-Roboters soll im Folgenden das Verhalten der Anlage sowie der einzelnen dort installierten Geräte exemplarisch erläutert werden.

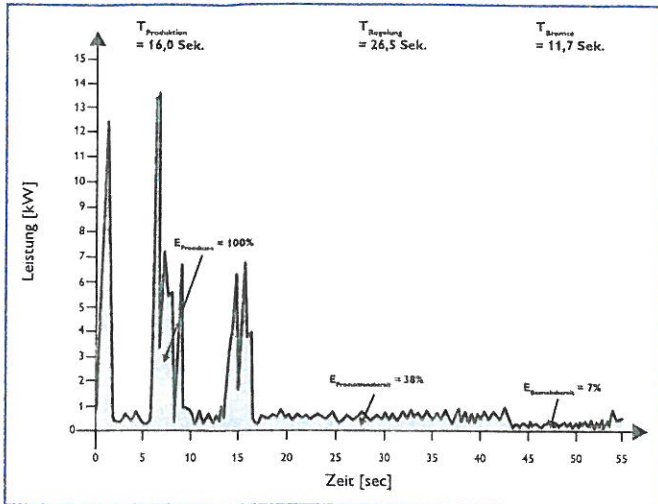


Bild 1. Typische Leistungsaufnahme und Energie-Anteile eines Handling-Roboters während des Zyklus.

Die in *Bild 1* dargestellte 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-Aufgabe mit den zugehörigen Verweilzeiten zum Schließen und Öffnen des Robotergrifers. 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.

„Positionsbereit“ 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.

Modell definiert verschiedene Betriebszustände

Das Zustandsmodell legt mindestens vier verschiedene Betriebszustände fest, die eine Anlage und die dort verbauten Komponenten einnehmen. Diese sind 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 (*Bild 2*).

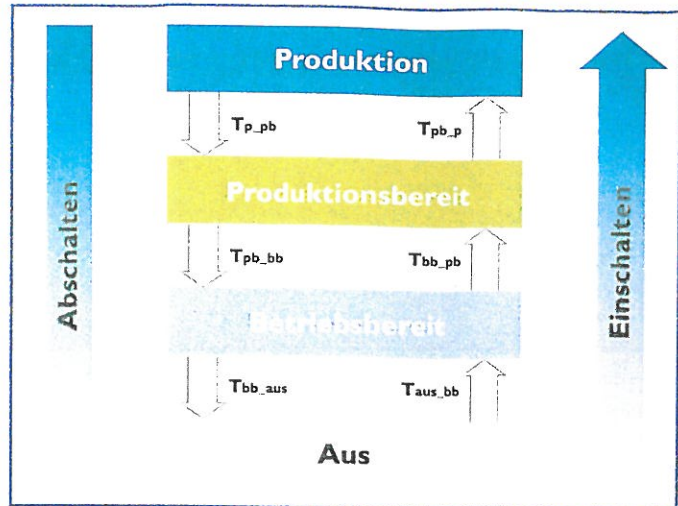


Bild 2. Allgemeines, vereinfachtes Zustandsmodell zur Beschreibung von Anlagen und Komponenten.

Voraussetzung für die Anwendung des beschriebenen Zustandsmodells ist, dass die Anlagenkomponenten unterschiedliche Zustände einnehmen können. Zur energiesensitiven Steuerung der Zustandswechsel muss zudem der geplante Produktionsablauf der Anlage bekannt sein. Diese Informationen können dem Energiemanagement-System durch ein überlagertes Leitsystem zur Verfügung gestellt werden. Als wesentlicher Bestandteil des Energiemanagement-Systems fungiert ein Energie-Controller, der die Anlage sowie ihre und die zuge-

Das Ziel: 50 % weniger!

Reduzierung des Energie- und Ressourceneinsatzes in der Karosseriefertigung um 50 % – so lautet das ambitionierte Ziel der Partner im Technologieverbund „Green Carbody Technology“. 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 (Förderkennzeichen: 02PO2250 ff) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Koordiniert wird der Technologieverbund von der Volkswagen AG und dem Chemnitzer Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU. Beteiligt sind an der Initiative mehr als 60 Partner, die in 30 Teilprojekte involviert sind.

hörige technischen Hallen-Infrastruktur 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 Transitionen und der entsprechenden Transitionszeiten der Anlagenkomponenten – berechnet der Energie-Controller die optimale Abschalt- und Einschaltstrategie (Bild 3).

Das Konzept ist mit der bekannten Start-Stopp-Automatik moderner PKWs 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 davon, wie hoch der Anteil jeder installierten Komponente am gesamten Energie-Einsatz der Anlage ist. Auf diese Weise lassen sich die Komponenten mit dem größten Einsparpotenzial priorität schalten.

Optimales Schalten spart 13 %

Hinsichtlich der definierten Betriebszustände hat die Analyse des betrachteten Roboters über den Zeitraum eines Pro-

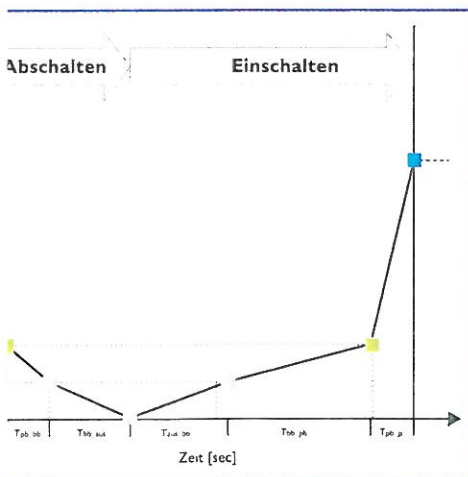


Bild 3. Beispielhafte Darstellung der Zustandswechsel mit Transitionszeiten und Leistungsniveaus.

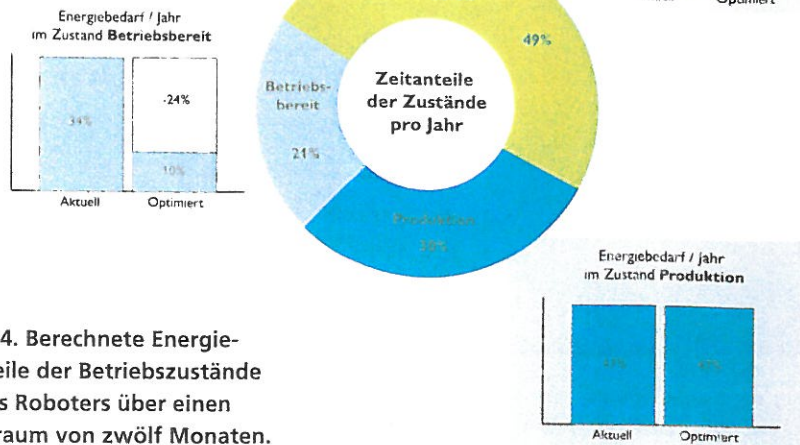


Bild 4. Berechnete Energie-Anteile der Betriebszustände eines Roboters über einen Zeitraum von zwölf Monaten.

duktionsjahres 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.

Wie in Bild 1 ersichtlich, kann der Roboter 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 Energie-Einsatz (siehe Bild 4).

Könnte die Druckluft-Versorgung des untersuchten Roboters in der produktionsfreien Zeit abgesperrt werden, ließe sich der Druckluftbedarf beträchtlich verringern. Die Auswertungen der Mess-Ergebnisse legen dar, dass der für die Bereitstellung der Ressource Druckluft notwendige elektrische Energie-Einsatz in diesem Fall um 25 % niedriger läge.

Zwar gelten die für den betrachteten Roboter gewonnenen konkreten Ergebnisse nur für diesen Anwendungsfall, da die Ergebnisse von zahlreichen Kennwerten wie dem Gewicht des zu bewegenden Bauteils abhängen, und sind folglich nicht auf andere Komponenten projizierbar; nichtsdestotrotz sind die zur Bestimmung der Einsparmöglichkeiten

genutzten Verfahren generell auf jede Anlagenkomponente übertragbar. Essenziell für die Identifizierung der Einsparpotenziale ist in jedem Fall eine aktive Energiemanagement-Lösung.

Eine wesentliche Voraussetzung zur Erreichung des energetischen Optimums ist eine zusätzliche Instanz, die die unterschiedlichen Einschalt- 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 Energie-Einsatz über den gesamten Lebenszyklus zu optimieren. gh



Frank Knafla

ist Master Specialist Energy Efficiency bei Phoenix Contact Electronics, Bad Pyrmont.

Mark Richter

ist Gruppenleiter Maschinen- und Prozess-informatik am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz.