

ENERGIEEFFIZIENTE ANTRIEBSTECHNIK IN DER PRODUKTION

Steffen Hülsmann, Adrian Raisch, Vladimir Boyko, Jochen Ohrem, Ringo Weichelt, Jürgen Weber, Oliver Sawodny

„EnAP“ steht für „Anwenderorientierter Einsatz von energieeffizienter Antriebstechnik in der Produktion“ und ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes Verbundprojekt. Industrie und Wissenschaft erarbeiten gemeinsam Konzepte und Methoden, um für bestimmte Bewegungsaufgaben die energetisch optimale Lösung zu finden.



1 EINLEITUNG

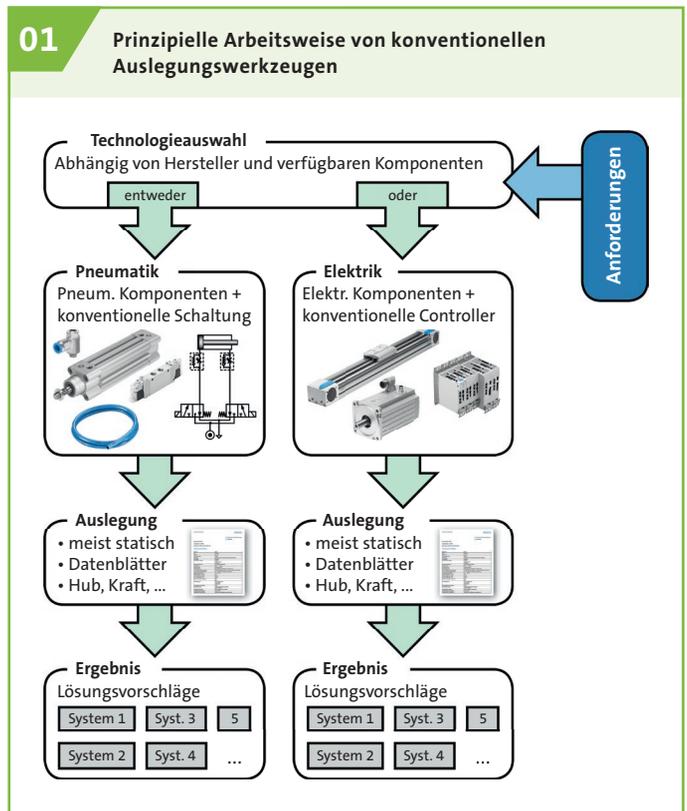
Energieeffizienz und der verantwortungsvolle Umgang mit Ressourcen sind seit langer Zeit ein erklärtes Ziel von Politik, Wirtschaft und Industrie. Die Energieversorgung bildet die Lebensader der industriellen Produktion, daher sind energieeffiziente Produktionstechniken in der Automatisierung ein wichtiger Aspekt für die langfristige globale Wettbewerbsfähigkeit. Vor diesem Hintergrund beschäftigen sich Wissenschaft und industrielle Forschung seit Jahren mit der Entwicklung von Strategien, mit denen die Energieeffizienz in der Automatisierungstechnik verbessert werden kann. Die daraus abgeleiteten Maßnahmen sind inzwischen verfügbar und ausführlich dokumentiert, allerdings hängt es stark vom jeweiligen Anwendungsfall ab, ob eine sinnvolle Umsetzung in der Praxis möglich ist.

In die Bewertung müssen zum einen Aspekte der technischen Machbarkeit einfließen, bspw. dürfen energieeffiziente Lösungen im Vergleich zu konventionellen Ansätzen keine geringere Zuverlässigkeit aufweisen, zum anderen muss bei der Lösungsfindung auch die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt sein. Da energiesparende Antriebslösungen oftmals in der Anschaffung mit etwas höheren Investitionskosten verbunden sind als herkömmliche Lösungen, muss deren Amortisation über eine gewisse Laufzeit gewährleistet sein und nachgewiesen werden können. Sind die kostenspezifischen Daten in der Planungsphase einer industriellen Anlage nicht vorhanden, so werden mögliche effizienzsteigernde Maßnahmen häufig nicht erkannt und in der Praxis nicht umgesetzt.

Ein vorrangiges Ziel des Forschungsvorhabens „EnAP“ besteht darin, einen systematischen Einsatz von energieoptimalen Automatisierungslösungen zu fördern. „EnAP“ steht für „Anwenderorientierter Einsatz von energieeffizienter Antriebstechnik in der Produktion“ und ist ein Verbundprojekt, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren gefördert wird. In Kooperation von Firmen und Instituten werden Energiesparkonzepte und Optimierungsmethoden erarbeitet, die vor allem in pneumatisch und elektrisch betriebenen Handhabungssystemen zum Einsatz kommen können. Es wird angestrebt, durch die erarbeiteten Methoden ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, mit dem für konkrete Bewegungsaufgaben und die damit verbundenen Anforderungen systematisch die optimale Lösung gefunden werden kann. Dabei sollen nicht nur die technische Machbarkeit, sondern auch Aspekte wie Energieverbrauch, Wirtschaftlichkeit oder Installationsaufwand berücksichtigt werden.

2 KONVENTIONELLE AUSLEGUNG VON AUTOMATISIERUNGSLÖSUNGEN

Viele Hersteller von Automatisierungskomponenten bieten unterschiedliche Auslegungswerkzeuge an, mit denen der Projektierungsvorgang unterstützt wird. Häufig handelt es sich dabei jedoch lediglich um Auswahlhilfen, bei denen die technische Machbarkeit beleuchtet wird. Eine Optimierung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit oder Energieverbrauch ist nicht vorgesehen. Auch ein Vergleich über verschiedene Technologien hinweg ist meist nicht möglich, da bspw. pneumatische und elektrische Antriebsachsen nicht im gleichen Tool projektiert und miteinander verglichen werden können. Dies führt dazu, dass, wie in **Bild 01** dargestellt, zunächst eine Antriebstechnologie ausgewählt werden muss (hier: Pneumatik oder Elektrik). Anschließend erfolgen die Auswahl geeigneter Komponenten und eine meist statische Auslegung aufgrund von Datenblättern oder algebraischen Zusammenhängen. Ergebnis ist oft eine Liste von



verschiedenen Lösungsvorschlägen, allerdings ohne direkte Vergleichsmöglichkeiten oder Priorisierung. Die tatsächlich optimale Antriebslösung kann mit dieser Methode nicht gefunden werden.

3 VERBESSERTE AUSLEGUNGSMETHODEN IM PROJEKT ENAP

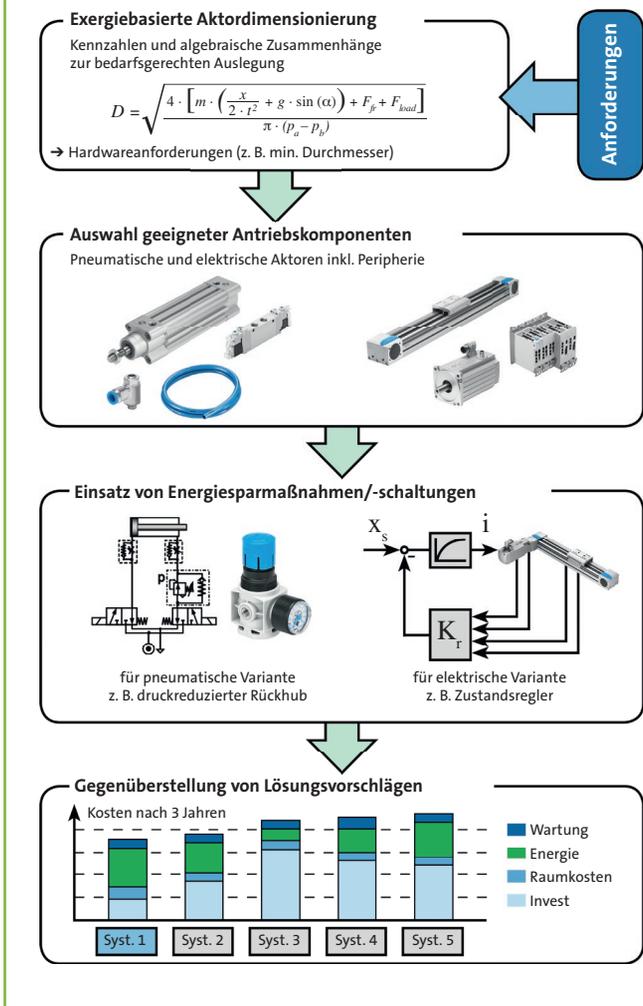
Um die Akzeptanz und das Bewusstsein für Energieeffizienz in der industriellen Automatisierungstechnik zu steigern, wurden im Projekt weiterführende Auslegungsmethoden entwickelt, die eine systematische Auswahl und Gestaltung von Lösungen ermöglichen und dabei den energetischen und wirtschaftlichen Nutzen von Energiesparmaßnahmen schon bei der Projektierung sichtbar und bewertbar machen. Dafür müssen im Lösungsraum einer Verfahrensaufgabe pneumatische und elektrische Antriebsstrukturen gleichermaßen vertreten sein. Ihre technologieneutrale domänenübergreifende Vergleichbarkeit soll durch verschiedenartige Kennzahlen (technische, energetische, kostenspezifische) gewährleistet werden.

Zur Entwicklung solcher Methoden sind verschiedene Vorgehensweisen denkbar, die je nach Art der Aufgabe Vor- oder Nachteile mit sich bringen. Da die Erarbeitung und Bewertung dieser methodischen Ansätze zentraler Bestandteil des Projekts ist, wurden von den Projektpartnern insgesamt drei unterschiedliche Methoden entwickelt, die im Folgenden vorgestellt werden.

3.1 KENNZAHLENBASIERTE AUSLEGUNGSMETHODE

Die Antriebsauswahl und -dimensionierung erfolgen bei der am Institut für Mechatrischen Maschinenbau der TU Dresden entwickelten kennzahlenbasierten Methode auf Basis der exer-

02 Kennzahlenbasierte Auslegungsmethode



getischen Bilanzierung. Der Begriff „Exergie“ kennzeichnet den nutzbaren Anteil der Gesamtenergie eines Systems, welcher Arbeit verrichten kann. Die Betrachtung der Exergie wird vor allem in der Pneumatik immer populärer, da sie eine thermodynamisch nachvollziehbare und auf messbaren Größen (Druck, Temperatur und Volumen- bzw. Massenstrom) basierende Berechnungs- und Bilanzierungsvorschrift darstellt. Dadurch eignet sie sich besonders gut dazu, pneumatische Antriebe zu bewerten und deren Wirkungsgrad aufzuzeigen. Zusätzlich ermöglicht die Exergie einen sinnvollen Vergleich mit elektromechanischen Antrieben.

Die Vorgehensweise der kennzahlenbasierten Auslegungsmethode ist in **Bild02** dargestellt. Im ersten Schritt der Auslegung wird der aktorische Teil eines Systems anhand der exergetischen Bilanzierung bedarfsgerecht dimensioniert. Dies geschieht unter Berücksichtigung von Anforderungen (blau), die sich aus der konkreten Bewegungsaufgabe ergeben. Ausgehend davon werden für eine bestimmte Verfahrensaufgabe sowohl eine pneumatische als auch eine elektromechanische Standardschaltung ausgewählt. Die zugrunde gelegten Berechnungen verhindern eine Überdimensionierung der Aktoren. Außerdem wird die zulässige Aufprallenergie in den Endlagen einer Achse überprüft.

Der Vorteil der beschriebenen Methode besteht dabei darin, dass sie in erster Linie lediglich auf algebraischen Zusammenhängen beruht, die sowohl statische als auch dynamische Anforderungen beinhalten. Der Rechenaufwand ist dadurch vergleichsweise gering.

Im nächsten Schritt werden die pneumatischen und elektrischen Systeme um Energiesparmaßnahmen ergänzt. Im Falle der Pneumatik werden u. a. die erreichbaren Einsparungen durch Sparschaltungen, Betriebsdruckanpassung und Minimierung der Befüllungsvolumina evaluiert. Für die Elektromechanik werden z. B. Kaskaden sowie Zustandsregelung und Anwendung von energieoptimalen Verfahrensprofilen betrachtet. Darüber hinaus ist es möglich, verschiedene Sparmaßnahmen miteinander zu kombinieren (z. B. eine Sparschaltung mit reduziertem Betriebsdruckniveau), um den Gesamtpareffekt zu erhöhen. Anschließend wird die Auswirkung der jeweiligen Sparmaßnahme sowohl auf die technisch-mechanischen Kennzahlen (Energieeffizienz, Funktionalität) als auch auf die TCO-Bilanz analysiert.

Auf diese Weise erhält man eine Reihe von möglichen Antriebsvarianten, die zur besseren Nachvollziehbarkeit graphisch gegenübergestellt und bewertet werden können (**Bild 02 unten**). Die Entscheidung für die Umsetzung einer bestimmten Variante kann vom Anwender basierend auf objektiven Kennzahlen wirtschaftlich bzw. funktional getroffen werden.

Da dynamische Effekte in den algebraischen Berechnungen nur vereinfacht analysiert werden können, muss bei der Klassifizierung einzelner Antriebslösungen mit Ungenauigkeiten gerechnet werden. Es empfiehlt sich daher, die ausgehend von Kennzahlen ausgewählte Lösung mithilfe von dynamischen Simulationen genauer zu überprüfen. Die simulative Überprüfung einer Lösung ist dabei nicht an eine bestimmte Software gebunden, sondern es kann auf beliebige etablierte Simulationsprogramme zurückgegriffen werden, die eine pneumatische bzw. elektromechanische Komponentenbibliothek enthalten (z. B. Simscape, SimulationX). Hilfreich ist in diesem Fall, wenn der Anwender mit der Nutzung und Parametrierung dieser Simulationsprogramme vertraut ist.

3.2 AUTOMATISIERTER LÖSUNGALGORITHMUS

Zur Auslegungsoptimierung und Auswahl geeigneter Energiesparmaßnahmen wird vom Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart ein automatisierter Ansatz verfolgt (**Bild03**). Die Grundlage dafür bildet eine dynamische Modellierung des Antriebs in Form von Differentialgleichungen, die z. B. bei einem Pneumatikzylinder die Kolbenposition sowie die Kammerdrücke beschreiben.

Zunächst wird aus den vorhandenen Komponenten und dazu passenden Schaltungen ein Startsystem gebildet, welches die aktuellen Anforderungen aus der Anwendung (blau) zumindest minimal erfüllen kann. Aus den Ergebnissen einer anschließenden Simulation können neben dem Energieverbrauch auch Merkmale der aktuellen Konstellation wie z. B. die Fahrzeit, die Antriebskräfte und die Aufprallgeschwindigkeit bestimmt werden.

Um einen Vorschlag für eine verbesserte Antriebskonfiguration zu erzeugen, wird ein Kostenintegral berechnet und in einem Gradientenverfahren bestimmt, in welche Richtung einzelne Parameter variiert werden müssen, damit das nächste System (hier System „n++“ genannt) verbesserte Eigenschaften aufweist. Für die Pneumatik kann das z. B. bedeuten, dass der Zylinderdurchmesser oder der Versorgungsdruck so angepasst werden, dass der Energieverbrauch verringert wird und gleichzeitig die Anforderungen der Aufgabe weiterhin erfüllt werden. Um dabei den Rechenaufwand gering zu halten, wird auf die Simulation der Sensitivitätsdifferentialgleichungen parallel zur Simulation des Antriebs zurückgegriffen.

Deren Lösung liefert genau den benötigten Gradienten zur Bildung des nächsten Systems.

Dieser Schritt wird innerhalb einer Optimierungsschleife mehrfach wiederholt. Das Verfahren kann abgebrochen werden, wenn nach einigen Durchgängen keine merkliche Verbesserung zum Vorgängersystem mehr festzustellen ist. Der letzte Stand wird gespeichert und stellt das Ergebnis der Optimierung dar.

Wie bei gradientenbasierten Verfahren üblich, besteht die Gefahr, anstatt der global besten Konfiguration als Lösung ein lokales Optimum zu finden. Gleichzeitig bringt das Verfahren allerdings den Vorteil, dass bereits wenige Simulationen des Antriebssystems zu einer signifikanten Verbesserung und zu deutlicher Energieeinsparung führen können.

3.3 AUSLEGUNGSMETHODE „KOMBINATORIK“

Die beiden bisher vorgestellten Methoden haben eine Gemeinsamkeit: Vor der Definition der Aufgabe sind lediglich die verwendbaren Komponenten und deren mögliche Verschaltung bekannt, konkrete Lösungen werden erst zur Laufzeit und unter Verwendung der jeweiligen Anforderungen generiert und bewertet. Je nach Komplexität der Aufgabe kann dies schwierig sein, da die notwendigen Berechnungen oftmals auf dynamischen Simulationsverfahren aufbauen und aufwendig sein können. Mitunter muss längere Zeit auf das Ergebnis gewartet werden.

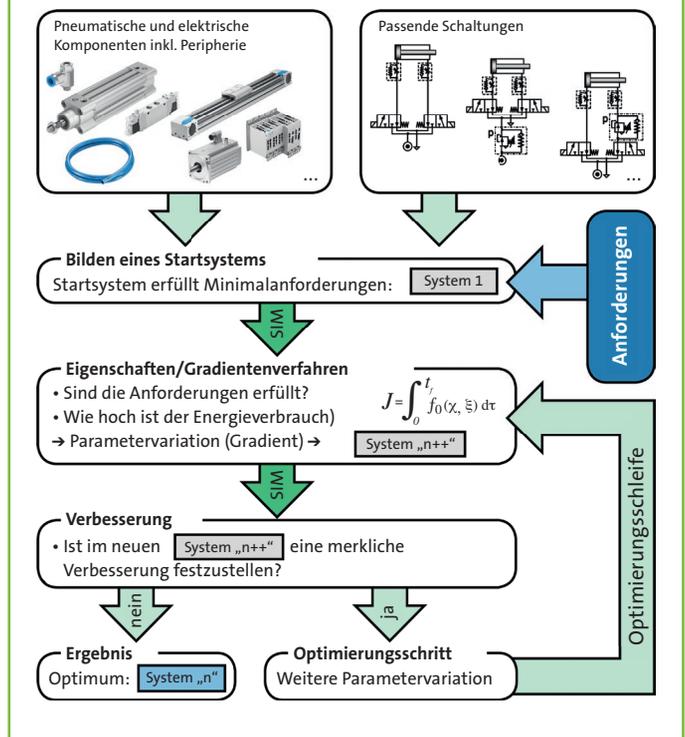
Grundgedanke der dritten Auslegungsmethode, erarbeitet von der Fa. Festo AG & Co. KG, ist es daher, bereits vorab über beliebige Kombinationen von Komponenten und Schaltungen eine Vielzahl an potentiellen Lösungen zu bilden und deren Verhalten zu berechnen bzw. zu analysieren. Die Ergebnisse werden in einer Lösungsdatenbank zusammengefasst und verfügbar gemacht, sodass sich die eigentliche Auslegungsaufgabe darauf reduziert, zur Laufzeit aus der Lösungsdatenbank die optimale Lösung herauszusuchen.

Die einzelnen Schritte der Methode sind in **Bild04** dargestellt. Zunächst werden aus den verfügbaren Ausgangsdaten Kombinationen gebildet, die die Grundlage von potentiellen Lösungen darstellen. Bestandteil dieser Kombinationen sind Komponenten und deren Verschaltung, aber auch zugehörige Einstellparameter und Informationen über die Ansteuerung. Je nach Strategie kann hierbei vorhandenes System-Know-How einfließen. Ist es bspw. bekannt, dass ein bestimmter Typ an Pneumatikzylindern nur mit einem bestimmten Typ an Ventilen kombiniert werden sollte, so kann diese Information in den Verschaltungsplänen abgelegt werden. Die Generierung von nicht funktionsfähigen Kombinationen wird so verhindert, was die Anzahl der potentiellen Lösungen und den Aufwand bei der Datenverarbeitung stark reduziert.

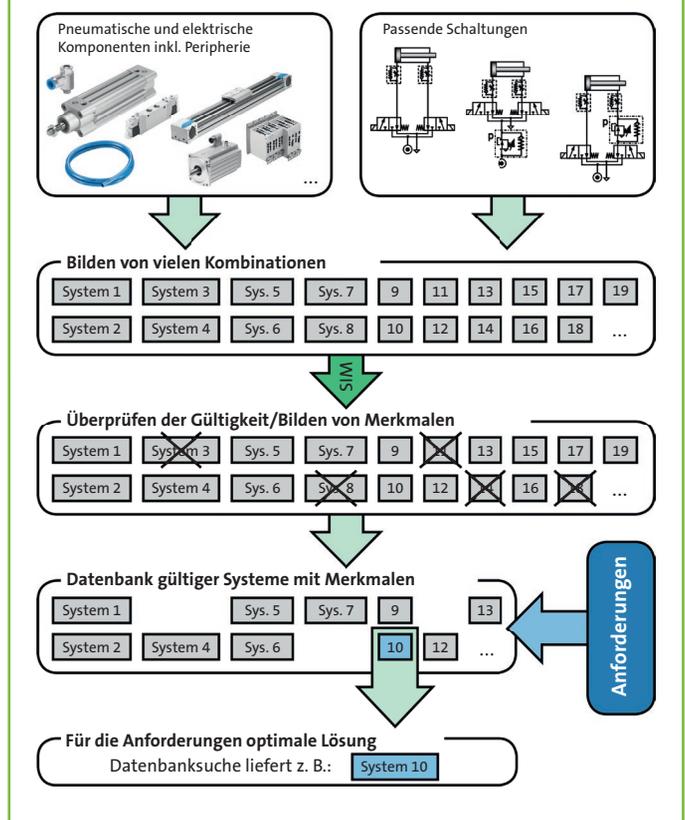
Im zweiten Schritt wird für jede Kombination untersucht, welche dynamischen Eigenschaften und Merkmale zu erwarten sind. Hierfür können Simulationswerkzeuge eingesetzt werden, die als Ergebnis Bewegungszeiten, Anpresskräfte oder andere Merkmale liefern. In diesem Arbeitsschritt kann auch überprüft werden, ob das Bewegungsverhalten der untersuchten Kombination gültige Ergebnisse liefert. Liegt z. B. die Aufprallenergie im Anschlag über einem erlaubten Wert, so müsste in einem echten Hardwareaufbau mit Beschädigungen gerechnet werden. Die simulativ untersuchte Lösung wäre dann ungültig und wird verworfen.

Nachdem die Lösungsbibliothek mit einer hinreichenden Anzahl an gültigen Lösungen gefüllt wurde, lässt sich auf Anfrage gezielt nach jener Lösung suchen, die am besten die Anforderungen einer konkreten Aufgabe erfüllt. Das Prinzip ist dabei ähnlich wie bspw. bei einem Online-Reisebuchungs-Tool, bei dem jener Datensatz

03 Automatisierter Lösungsalgorithmus

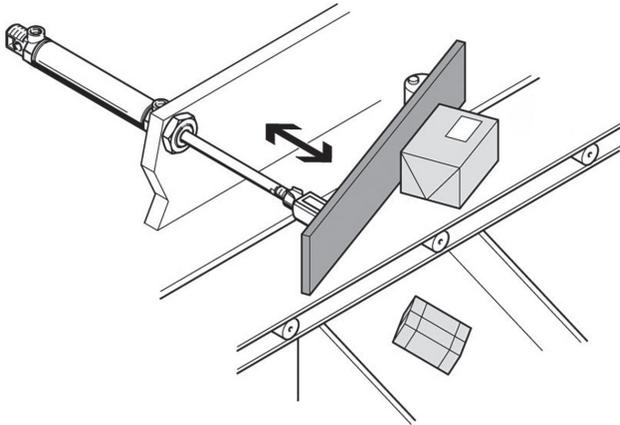


04 Auslegungsmethode „Kombinatorik“



05

Beispiel Paketweiche - Bewegte Masse ausfahren: 2,5 kg;
einfahren 2,5 kg; Hub: 200 mm; Zeit ausfahren: < 0,5 s;
einfahren < 1,0 s; Kraft ausfahren: 200 N; einfahren 40 N



06

Demonstratoranlage der Fa. XENON GmbH



gesucht wird, der den Anforderungen des Kunden am besten entspricht. Je größer die Lösungsbibliothek und je breiter die Merkmalsverteilung der verschiedenen Lösungen ist, desto wahrscheinlicher ist es, eine Lösung mit guter Übereinstimmung von Anforderungen und Merkmalen zu finden. Die Ergebnisse werden daher mit wachsender Datenbank stets verbessert.

Ein Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass je nach Menge an verfügbaren Komponenten und Schaltungen mitunter sehr viele Kombinationen gebildet werden könnten, was zu einem hohen Aufwand in der Datenverwaltung führen würde. Um dies zu verhindern, muss über geeignete Strategien sichergestellt werden, dass nur sinnvolle Kombinationen gebildet werden. Außerdem sollten Mechanismen implementiert werden, die ein kontinuierliches Bereinigen der Lösungsdatenbank erlauben.

4. VALIDIERUNG DER METHODEN

Die Validierung und Erprobung der beschriebenen Methoden erfolgte auf zwei verschiedenen Ebenen. Zunächst wurde ein einfaches theoretisches Beispiel mit einer einzelnen Linearachse verwendet, in einem weiteren Schritt erfolgte mit Unterstützung der industriellen Partner die Validierung an konkreten industriellen Anlagen.

4.1 VALIDIERUNG AN EINZELACHSE

Das verwendete Beispiel orientiert sich an einer Paketweiche, wie sie z. B. in der Logistik Verwendung finden könnte (**Bild05**). Gefordert wird das Bewegen einer definierten Masse über einen bestimmten Hub in einer vorgegebenen Maximalzeit sowie das Aufbringen einer Presskraft im Endpunkt der Bewegung.

Um die Komplexität der Aufgabe überschaubar zu gestalten, war lediglich ein relativ kleiner Katalog an Komponenten als Bausteine potentieller Lösungen vorgesehen. Insgesamt sollte aus 77 pneumatischen Komponenten und 3 Schaltungen ein optimales Lösungssystem erzeugt werden. Bei den Schaltungen handelte es sich um eine Standardschaltung ohne jegliche Sparmaßnahmen und zwei Sparschaltungen, die an zwei unterschiedlichen Stellen jeweils ein Druckbegrenzungsventil aufweisen.

Ein Vergleich der Methoden ergab eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse: So empfehlen bspw. alle drei Verfahren die Anwendung eines Zylinders mit 25 mm Kolbendurchmesser für die vorliegende Aufgabe. Die technisch-mechanischen Ergebnisse lagen in allen drei Fällen ebenfalls nah an den gewünschten Werten. Die Kreuzvalidierung der unterschiedlichen Ansätze gilt daher als gelungen.

4.2 VALIDIERUNG AN DEMONSTRATORANLAGEN

Der nächste Validierungsschritt wurde an Anlagen der industriellen Projektpartner KHS GmbH sowie XENON Automatisierungstechnik GmbH durchgeführt. Zu Beginn wurde der Istzustand der Anlagen als Referenz erfasst. Anschließend konnten mit Ergebnissen der beschriebenen Optimierungsmethoden Anlagenkonfigurationen mit verbesserter Energieeffizienz ermittelt werden. Derzeit finden die technische Umsetzung und der Umbau der Anlagen gemäß der erarbeiteten Lösungsvorschläge statt. Der Umrüstung bzw. Neukonzipierung der Demonstratoren soll eine weitere Messung folgen mit dem Zweck, den neuen Anlagenzustand zu erfassen und diesen mit der Referenz zu vergleichen.

4.2.1 NEUKONZIPIERUNG EINER MONTAGEMASCHINE (XENON GMBH)

Die ausgewählte Demonstratoranlage der Fa. XENON stellt eine Maschine zur Montage einer speziellen Steckverbindung dar. Sie besteht aus 15 pneumatisch betriebenen Stationen, angesteuert von vier in der Anlagenzelle zentral montierten Ventilinseln, und entspricht in ihrem Aufbau und Funktionsweise einer branchenüblichen pneumatischen Produktionsanlage (**Bild06**).

In erster Linie wurden der Druckverlauf und der Druckluftverbrauch jeder einzelnen Station im Standardbetrieb vermessen. Die Messungen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden systematisch analysiert und daraus das weitere Vorgehen abgeleitet. Mithilfe der erarbeiteten Methoden wurde eine Reihe von Lösungsvorschlägen für verschiedene der vorhandenen Komponenten ausgearbeitet. Hinzu kam die Auswertung der Spareffekte, die mit verschiedenen Energiesparmaßnahmen einhergehen.

Nach der Gegenüberstellung unterschiedlicher pneumatischer und elektromechanischer Lösungsvorschläge wurden in Abstimmung mit der Firma XENON folgende Maßnahmen festgelegt, die in die Konstruktion der nachfolgenden Produktionsanlage miteinfließen werden. Die Entscheidungen wurden unter bauraumtechnischen und energetisch-kostenspezifischen Gesichtspunkten getroffen. Bei den im Nachfolgenden angegebenen Einsparungen handelt es sich ausschließlich um errechnete Energiekosteneinsparungen.

- Die Längen der Schlauchleitungen zwischen den pneumatischen Aktoren werden verkürzt, indem soweit möglich von einem zentralisierten Konzept bei der Platzierung von Ventilinseln abgewichen wird (erwartete Gesamteinsparung ca. 55 € p. a. bei durchschnittlicher Längenreduzierung um 900 mm pro Aktor). Anstatt der Ventilinseln werden an einigen Stellen Einzelventile bzw. Mikroventile verwendet.
- Überdimensionierte doppelwirkende Pneumatikzylinder werden durch bedarfsgerecht ausgelegte einfachwirkende Zylinder ersetzt, sofern dies nicht zur Überschreitung der zulässigen Zykluszeit führt. Dies macht sich schnell in den Kosten bemerkbar: An einem einzelnen Presszylinder mit 50 mm Durchmesser verringern sich die Jahreseinsatzkosten bereits um ca. 45 €.
- Ein Großteil des Druckluftverbrauchs der Anlage geht auf Blas- und Saugluftanwendungen zurück, z. B. zu Zuführungen von Bauteilen. Die Sparmaßnahmenliste sieht an dieser Stelle den Einsatz mehrerer Volumenstromverstärker vor, die sich den sog. Coandă Effekt zunutze machen. Darüber hinaus wird die Ansteuerungsstrategie von Blasdüsen verändert: Statt konstant eingeschaltet zu sein, wird ihre Einschaltdauer dem Bedarf entsprechend angepasst. Gelingt die Umsetzung dieser Maßnahmen, so können Einsparungen von bis zu 170 € p. a. erzielt werden.
- Auch die Gesamtstruktur der Anlage wird verändert. Es werden zwei Druckzonen innerhalb der Anlage vorgesehen: eine Niederdruckzone (Betriebsdruck 3 bar) für reine Bewegungsaufgaben und eine Hochdruckzone für Pressaufgaben. Im letzteren Fall wird darüber hinaus der Betriebsdruck von ursprünglichen 6 bar auf 5 bar gesenkt. Durch die Druckreduzierung sowie die Einteilung in zwei Druckzonen lassen sich jährlich ca. 400 € einsparen.
- Ein Ersatz vorhandener pneumatischer Antriebe durch elektromechanische Komponenten hat sich im Laufe der Untersuchung als wirtschaftlich nicht lohnend erwiesen. Auch aufgrund des begrenzten Bauraums in der Anlagenzelle wäre der Einsatz von Elektromechanik kaum möglich gewesen.

Zur Bestimmung der Gesamtersparnis dürfen die einzelnen Einsparungen nicht aufsummiert werden, da sich die Maßnahmen teilweise gegenseitig beeinflussen. Insgesamt beläuft sich die erwartete Ersparnis in der gesamten Anlage auf ca. 500 € pro Jahr. Die neue Anlage mit den umzusetzenden Sparkonzepten wird in der letzten Projektphase vermessen, um die Verbesserung der errechneten technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen gegenüber ihrem Vorgänger im Detail nachzuweisen.

4.2.2 UMRÜSTUNG EINER SEKTFÜLLANLAGE (KHS GMBH)

Die zweite Demonstratoranlage stellte eine besondere Herausforderung dar, da sie eher dem Bereich der Spezialanwendung zuzuordnen ist. Es handelt sich um eine Füllmaschine zur Abfüllung von Sekt mit 192 Füllventilen und einer maximalen Füllleistung von 21 000 Flaschen pro Stunde. Jedes Füllventil wird mit insgesamt sechs pneumatisch betriebenen Aktoren gesteuert, die im Fokus des Projekts stehen.

Analog zu der in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen Montagemaschine wurden zunächst Messungen durchgeführt, die Aufschluss über den aktuellen Druckluftverbrauch der Anlage geben. Dabei wurden zwei unterschiedliche Produktfüllungen betrachtet, denn die Art des abgefüllten Produkts hat Auswirkungen auf den Füllprozess. Sowohl der Druck der Prozessgase als auch die Anzahl der Schaltvorgänge der Gassteuerzylinder kann unterschiedlich sein, was direkten Einfluss auf den Druckluftverbrauch hat.

Basierend auf den entwickelten Auslegungsmethoden wurden Möglichkeiten erarbeitet, um Potenziale zur energetischen Effizienzsteigerung auszuschöpfen. Die verschiedenen pneumatischen und elektromechanischen Aktoren und Optimierungsmöglichkeiten des Gesamtsystems wurden anhand eines zu erwartenden Leistungszuwachses bewertet (bspw. kürzere Abfüllzeiten, höherer Durchsatz). CO₂-Einsparungen sowie der prognostizierte Kosten- und Energieaufwand flossen ebenfalls in die Bewertung mit ein. Ein einheitlicher Vergleich wurde durch die TCO-Berechnung der Kosten pro Flaschenfüllung vollzogen.

Anders als bei der Anlage der Fa. XENON zeigte die Anwendung von elektromechanischen Aktoren im Füllventil insgesamt bessere Ergebnisse, auch hinsichtlich der Freiheitsgrade im Prozessablauf. Daher wird in einer überarbeiteten Version des Füllventils einer der sechs pneumatischen Aktoren durch einen elektromechanischen ersetzt. Zur Verbesserung der restlichen fünf Pneumatik-Aktoren werden ebenfalls verschiedene Maßnahmen umgesetzt, wie z. B. Verkürzung der Schläuche, Druckniveaueinpassung bzw. Aktordimensionierung. Durch das gesamte Maßnahmenpaket lassen sich voraussichtlich ca. 550 € pro Jahr an Energiekosten einsparen.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Laufe des Projekts wurden drei Methoden zur optimierten Auslegung von Automatisierungsaufgaben erarbeitet. Da jede davon unterschiedliche Sichtweise auf die Antriebsauslegung vertritt und ihre eigenen Vor- und Nachteile besitzt, ist ihre Anwendung immer fallspezifisch. Nichtsdestotrotz liefern die Methoden ähnliche Ergebnisse, was vermuten lässt, dass jede der Methoden praxistauglich anwendbar ist.

Im nächsten Schritt wäre es denkbar, alle Methoden zu einem gemeinsamen Auslegungsverfahren zu kombinieren, bspw. im Rahmen eines Auslegungstools, sodass die Qualität der Ergebnisse weiter verbessert und die individuellen Nachteile überwunden werden können. Das Forschungsprojekt „EnAP“ leistet eine Vorarbeit für die Entwicklung dieses neuen Werkzeugs zur Auswahl und Optimierung von bedarfsgerecht konzipierten Antrieben. Der Fokus liegt dabei auf der energieeffizienten Erfüllung der Automatisierungsaufgabe und den damit verbundenen Anforderungen. Die Auslegung erfolgt technologieneutral und legt sich nicht prinzipiell auf eine bestimmte Antriebstechnologie fest.

6 FÖRDERUNG

Das beschriebene Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter den Förderkennzeichen 03ET1385A bis 03ET1385E gefördert.

Webseite des Verbundprojektes: <https://www.enap-projekt.de/>

Fotos: Aufmacher KHS GmbH/Frank Reinold

Autoren:

Dipl.-Ing. Steffen Hülsmann, M. Sc. Adrian Raisch, M. Eng. Vladimir Boyko, Dr. Jochen Ohrem, Ringo Weichelt, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Weber, Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Oliver Sawodny