

Leistungssteigerung um 20 % durch Model-Based Design und Optimierung:

# Schneller verpacken

Charakterisiert durch volle Vernetzung von Komponenten und Ressourceneffizienz soll die vierte industrielle Revolution Produktivitätssteigerungen durch Optimieren des vorhandenen Potenzials ermöglichen. Model-Based Design bietet zuverlässige Grundlagen für die effiziente Auslegung eines Systems. Erweitert um Optimierungsmethoden gestattet sie, das Potenzial voll auszuschöpfen. Unterstützt von Implementierungspartner Richter Optimization GmbH konnte der Verpackungsmaschinenhersteller Dividella AG mit diesen Methoden die Produktivität um 20 % steigern – und das bei gleichbleibendem Energieverbrauch.

Pharmazeutische Produkte unbeschädigt, hygienisch und lagerichtig in ihre Verpackung zu bringen, ist Zweck von automatisierten Verpackungslösungen, wie sie die Dividella AG in diversen, auf den Kunden abgestimmten Ausführungen anbietet. Im Bereich der flexiblen TOPLoading – Maschinen, bei denen die Produkte von oben in die Verpackung eingelegt werden, ist der ostschweizer Hersteller seit Jahrzehnten Innovationsführer.

## Bewegungsaufgabe Steg-Übersetzung

Die Entwicklung der NeoTOPx markierte 2012 einen neuen Meilenstein in diesem Produktsortiment, das Dividella seit 30 Jahren kontinuierlich ergänzt und perfektioniert. Von Grund auf neu entwickelt hat Dividella bei dieser Gelegenheit das Handling der Schachteln und der einzuklebenden Stege. Die hochdynamische Bewegung des Übersetzers mit bis zu 3 g maximaler Beschleunigung wird durch eine gekoppelte Ansteuerung mit einem Zahnriemen und zwei Servomotoren erreicht. Aufgabe des Stegübersetzers ist es, gestanzte Zuschnitte aus Karton zu einem Steg zu verformen und in die be-



Bei der NeoTOPx entwickelte Dividella das Handling der Schachteln und der einzuklebenden Stege von Grund auf neu. Anpassung des Antriebsstrangs und Neuauslegung des Reglers mittels Model-Based Design sowie Optimierung der Referenz-Trajektorie führten zu einer mehr als 20 % höheren Taktzahl bei gleichem Energieverbrauch.

reits fertig aufgerichtete Schachtel einzukleben. Das Verformen der Zuschnitte und das Aufbringen von Leim werden dabei während des Hinbewegens zur Schachtel durchgeführt. Der Stegübersetzer muss schnellstmöglich bewegt werden, ohne übermäßige Vibrationen am Rahmen zu erzeugen und das trotz seiner hohen bewegten Masse von 115

kg in vertikaler und 60 kg in horizontaler Richtung.

## Per Consulting zur Optimierung

Der Stegübersetzer bestimmt die maximale Taktzahl. Deshalb entschloss sich Dividella, das Potenzial für eine Erhöhung der Taktzahl durch Model-Based Design und Optimierung auszuloten. Dadurch konnte auf zeitintensive empirische Optimierungen an einem Prototyp verzichtet werden. Den Auftrag für Analyse und Implementierung erhielt die Richter Optimization GmbH. Sie bietet Modellierung, Simulation und Optimierung aus einer Hand an. Zu ihren Aufgaben bei Dividella gehörten die Anpassung des Antriebsstrangs zur Herstellung optimaler elektromecha-



“ Durch optimale Abstimmung von Antriebsstrang, Referenztrajektorie und Regler konnte die Taktrate der Verpackungsmaschine um 20 % erhöht werden – und das bei gleichbleibendem Energieverbrauch.

**Eduard Lorenz, Produktmanager R&D, Dividella AG**



Pharmazeutische Produkte unbeschädigt, hygienisch und lagerichtig in ihre Verpackung zu bringen, ist Zweck der kundenspezifischen automatisierten Verpackungslösungen von Dividella.



“ Die konsequente Anwendung von Model-Based Design und Optimierungsmethoden führt zu Effizienz- und Produktivitätssteigerungen. Diese Technologien sind daher unverzichtbar für die Umsetzung von Industrie 4.0.

**Philipp Wallner, Industry Manager für Industrial Automation & Machinery in Europa, MathWorks**

nischer Verhältnisse für die Taktzahl-Optimierung, die Optimierung der Referenzbahnen des Stegübersetzers zum Erreichen der maximalen Taktzahl sowie die Implementierung eines optimierten Positionsreglers für die Servomotoren, um ein schwingungsfreies Abfahren der optimierten Referenztrajektorien zu gewährleisten.

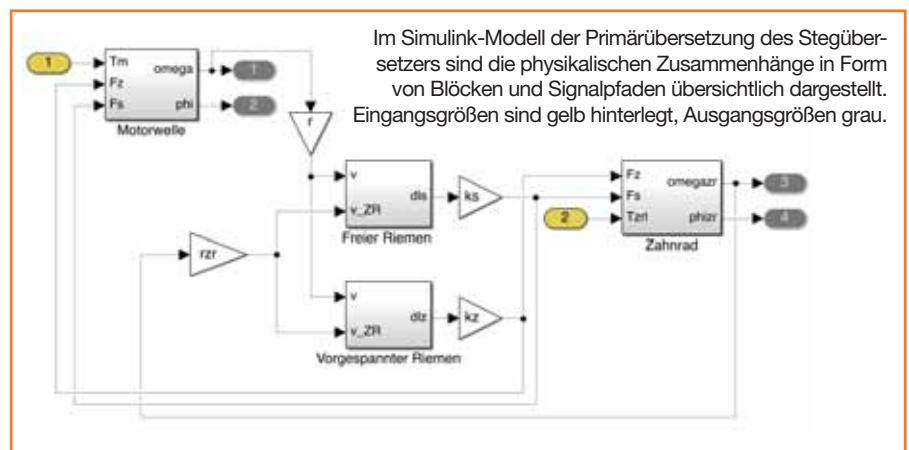
### Modellbasierte Anpassung des Antriebsstrangs

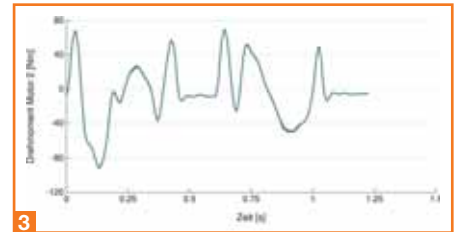
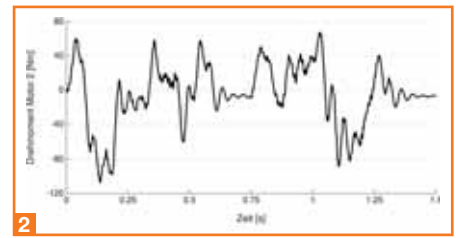
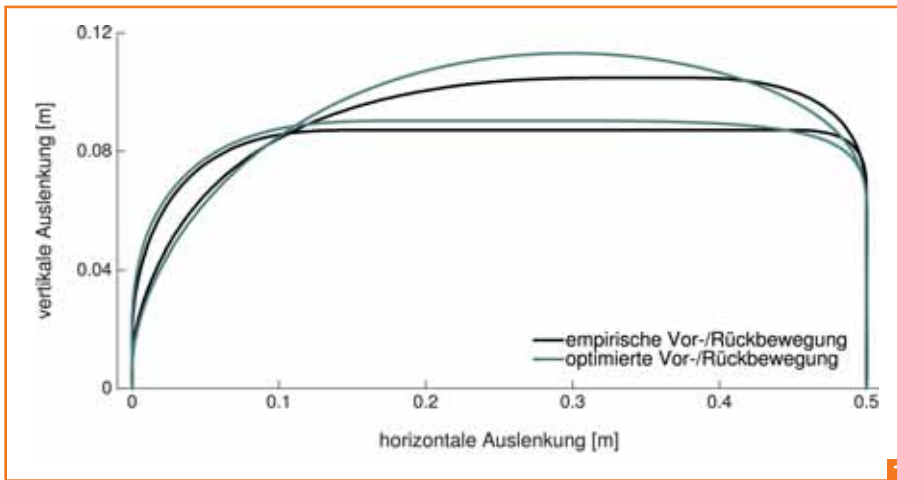
Ziel des ersten Projektabschnittes war es, durch bestmögliche Abstimmung der Elemente des Antriebsstrangs (Motor, Welle, Kupplung und Primärübersetzung mittels Zahnriemen) auf die dynamische Bewegung des Stegübersetzers die Grundlage für hohe Taktzahlen zu

schaffen. Die Auslegung eines Antriebsstrangs für Bewegungen mit wechselnder Drehrichtung und Drehzahl stellt erfahrungsgemäß eine große Herausforderung dar. Meist erfolgt die Abschät-

zung der auftretenden Momente und Kräfte per Worst-Case-Analyse aufgrund ausgewählter Eckdaten des Antriebsstrangs und typischer Betriebsszenarien.

Wesentlich flexibler und genauer lassen sich diese Abklärungen mit Model-Based Design durchführen und so Unter- als auch Überdimensionierungen vermeiden. Dazu erstellte Richter Optimierung zunächst aus den wesentlichen geometrischen Abmessungen der Maschinenelemente, deren Materialeigenschaften und den Motorkennwerten ein mathematisches Modell. Anschließend erfolgte in der Softwareumgebung →





von MathWorks – MATLAB und Simulink – die Simulation verschiedener Betriebs-szenarien.

**Per Simulation zu vereinfachtem Aufbau**

Die Simulation zeigte, dass auf die Primärübersetzung verzichtet werden kann, weil das Übersetzungsverhältnis durch den flexiblen Zahnriemen zur Gänze absorbiert wird, ohne erhöhte Antriebsmomente zu verursachen. Dadurch konnte Dividella den Motor direkt mit dem Hauptantrieb verbinden und so den Aufbau des Stegübersetzers vereinfachen. Mit unterschiedlichen Motormodellen und Welle-Kupplung-Konfigurationen wurde per Simulation zusätzlich das beste Setup für hohe Taktzahlen ermittelt.

**Performancegewinn durch Optimierung**

Nach der Fixierung des elektromechanischen Setups konnte die Referenztrajektorie auf maximale Taktzahl optimiert werden. Dazu erfolgte im Optimie-

rungsproblem die Formulierung von Nebenbedingungen zur Beschreibung zentraler Anforderungen an die Trajektorie. Dazu gehören geometrische (z. B. Arbeitsraumbeschränkungen, vertikales Ein- und Austauschen in und aus der Schachtel), dynamische (z. B. maximale Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Momente) und thermische Nebenbedingungen in Bezug auf die Motorerwärmung. Auch die Kostenfunktion wurde als Teil des Optimierungsproblems festgelegt, um die Gesamtverfahrenzeit für die Vor- und Rückbewegung zu minimieren und so die größtmögliche Taktzahl zu erreichen.

Die anschließende Berechnung einer Referenztrajektorie, die allen Anforderungen genügt und zudem zeitoptimal ist, erfolgte ebenfalls in MATLAB. Die Unterschiede zwischen berechneten und empirisch ermittelten Trajektorien erschienen wegen der Einschränkungen durch die geometrischen Nebenbedingungen auf den ersten Blick geringfügig. Weil die Zuordnung der Wegpunkte auf die Zeitachse durch die Optimierung bestmöglich auf das dynamische Verhalten des Stegübersetzers abgestimmt ist, können die rechnerisch ermittelten optimalen Trajektorien mit dem angepassten Antriebsstrang dennoch um mehr als

**1** Empirische und optimierte Referenztrajektorien für die Vor- und Rückbewegung sind bezüglich der Geometrie ähnlich. Durch Berücksichtigung der Systemdynamiken lässt sich jedoch mit der errechneten Variante eine deutlich höhere Taktrate erzielen, da die Zuordnung der Wegpunkte auf die Zeitachse optimal ist.

**2, 3** Verlauf des Motormoments für das ursprüngliche Setup von Antriebsstrang, Referenztrajektorie und Positionsregler sowie nach der Optimierung.

20 % schneller abgefahren werden – und das bei gleichbleibendem Energieverbrauch.

**Durch neue Reglerarchitektur vibrationsfrei**

Im letzten Projektabschnitt galt es, Schwingungen in den Motormomenten und damit in den Lastbeschleunigungen bestmöglich zu dämpfen, da diese Vibrationen am Rahmen verursachen. Obwohl das bereits bei der Trajektorien-Optimierung berücksichtigt wurde, ließen sich im Betrieb nicht alle Schwingungen vermeiden. Das lag an der Reglerstruktur der Servomotoren, die nur die eigene Drehachse geregelt hatten, die Koppelung mit der des anderen Motors über den Zahnriemen jedoch unberücksichtigt ließen.

**Richter Optimization GmbH**

Die Richter Optimization GmbH bietet Beratungs- und Entwicklungsdienstleistungen an mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit, Effizienz und Produktivität von technischen Systemen zu erhöhen. Zu diesem Zweck werden kundenspezifische Lösungen mithilfe von Techniken aus der mathematischen Modellbildung, Simulation und Optimierung entwickelt.

www.richteroptimization.com



“Optimierungsmethoden generieren systematisch und automatisch effiziente Designentscheidungen. Damit lässt sich in einem transparenten Entwurfsverfahren maximale Ressourceneffizienz realisieren.

**Stefan Richter, Gründer der Richter Optimization GmbH**

## Anwender

Die Dividella AG bietet automatisierte Verpackungslösungen für pharmazeutische Produkte in diversen, auf den Kunden abgestimmten Ausführungen an. Im Bereich der flexiblen TOPLoading-Maschinen, bei denen die Produkte von oben in die Verpackung eingelegt werden, ist Dividella seit Jahrzehnten Innovationsführer.

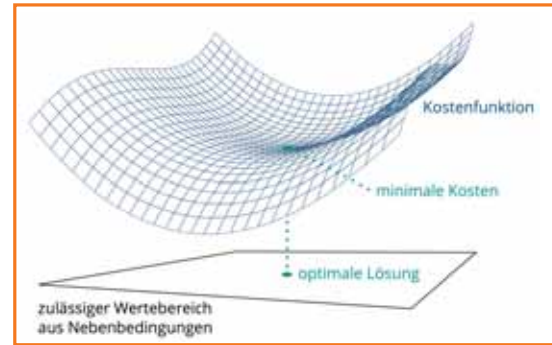
■ [www.dividella.ch](http://www.dividella.ch)

Durch Berücksichtigung dieser Koppelung im Reglerentwurf für diesen hoch dynamischen Antrieb wurden signifikant bessere Ergebnisse erzielt. Messungen haben ergeben, dass alleine der Einsatz des optimierten Reglers den RMS-Wert der auftretenden Rahmenbeschleunigungen im Vergleich zum konventionellen Regler um bis zu 20 % reduziert. Das ist vor allem ein Beitrag zu einer verlängerten Lebensdauer der Maschine und

zu einem reduzierten Instandhaltungsaufwand.

## Entwicklungsmethoden für Maschinenbau 4.0

Die modellbasierte Entwicklung technischer Systeme ist ein zentraler Bestandteil in der Automatisierungstechnik von morgen. Um das volle Potenzial ausnutzen und damit höchste Ressourceneffizienz gewährleisten zu können, ist es notwendig, Model-Based Design konsequent weiterzudenken. Wie die Taktzahl-Optimierung in einer Verpackungsmaschine der Dividella AG durch Richter Optimization zeigt, können Modelle gewinnbringend für weitergehende Systemoptimierungen und Reglerentwurfverfahren eingesetzt werden. Moderne numerische Optimierungsverfahren spielen dabei eine Schlüsselrolle, denn sie generieren transparent und systematisch Lösungen für komplexe Fragestellungen und können daher zeitaufwendige empirische Verfahren ersetzen.



Bei der Optimierung bestimmt die Kostenfunktion, was hinsichtlich verschiedener Effizienzkriterien (Zeit, Geld, Energie, ...) als optimal gilt. Die Nebenbedingungen bestimmen den zulässigen Wertebereich der Lösung.

Oder wie es Eduard Lorenz, Produktmanager R&D bei der Dividella AG, prägnant auf den Punkt bringt: „Durch modellbasierte Entwicklungsmethoden und Optimierung hätten wir auf eine Version des Prototypen verzichten können.“

■ [www.mathworks.de](http://www.mathworks.de)

# EIN MEISTERSTÜCK DER PRÄZISION UND ZUVERLÄSSIGKEIT

## SIGMA-7 – DIE SERVOANTRIEBE DER NÄCHSTEN GENERATION

Mit Sigma-7 beginnt ein neues Zeitalter der Automatisierung. Bahnbrechende Präzision, hohe Leistungsdichte und meisterhafte Zuverlässigkeit ermöglichen maximalen Maschinenausstoß. Wie in einem Uhrwerk greifen hier alle Features perfekt ineinander: Vibrationsunterdrückung, automatische Lastanpassung und 24-Bit-Absolute-Encoder. Und dank integrierter Autotuningfunktionen und Presets gelingt die Inbetriebnahme im Handumdrehen.

