

## Getriebetechnik, Mechatronik?

### Ein Vergleich aus der Medizin- und Hygieneindustrie

Lohregel, A.; Ostertag, W.; Sprick, R.

*Wettbewerbsfähige Produktionsprozesse in der Medizin- und Hygieneindustrie erfordern effiziente Durchlaufprozesse mit hohen Produktionsgeschwindigkeiten und hoher Flexibilität für Formatumstellungen und zukünftige Produktgenerationen. Es wird eine innovative Prozesseinheit vorgestellt, die dank der Kombination aus trägheitsoptimaler Konstruktion und flexibler Servo-Einzelantriebstechnik die o. g. Anforderungen erfüllen kann.*



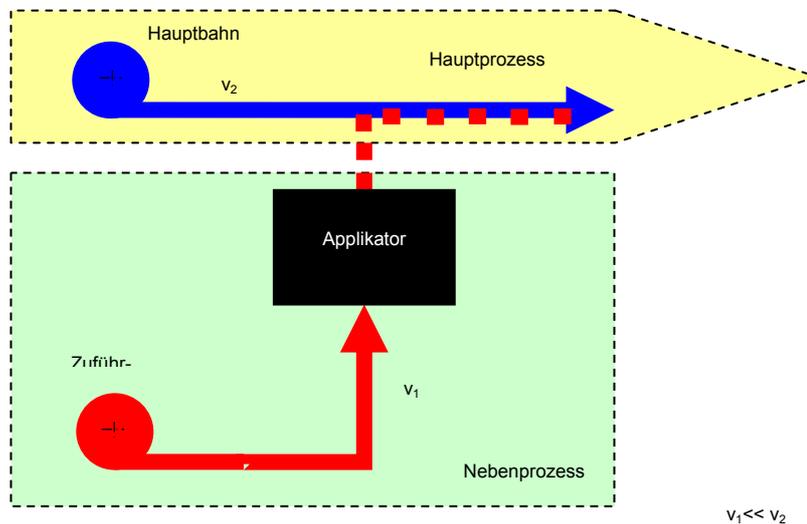
*Competitive manufacturing of medical and healthcare products requires high production speed and high flexibility for easy size changeover and future product generation. Thanks to the combination of an inertia-reduced design and a flexible servo single drive concept the presented innovative device fulfils above mentioned requirements.*

#### 1 Einleitung

Die Fertigungs- und Produktionstechnik der Medizin- und Hygieneindustrie unterliegt einem enormen Kostendruck. In den 90er Jahren erfolgte daher eine Verlagerung personalintensiver Produktionsprozesse von den Hochlohnländern in die Länder des ehemaligen Ostblocks. Aufgrund des inzwischen stark angestiegenen Lohnniveaus in diesen Ländern ist heute eine zweite Welle der Verlagerung einfacher Produktionsschritte in Richtung Osten wie z. B. China und Indien zu verzeichnen. Für den Erhalt des Produktionsstandorts Europa bedeutet dies, die Produktionsprozesse hinsichtlich Effizienz, Synchronisierung und Standardisierung zu optimieren.

## 2 Aufgabenstellung

Ein Großteil der hier angesprochenen Medizin- und Hygieneprodukte werden heute in so genannten kontinuierlich laufenden Durchlaufprozessen hergestellt. D. h. die als Rollenware vorliegenden einzelnen biegeschlaffen Rohmaterialien wie z. B. Folien, Vliesstoffe und Laminate werden in einem Hauptprozess bei hoher Produktionsgeschwindigkeit zum fertigen Endprodukt komplettiert.



**Bild 2.1:** Schaubild für Haupt- und Nebenprozess

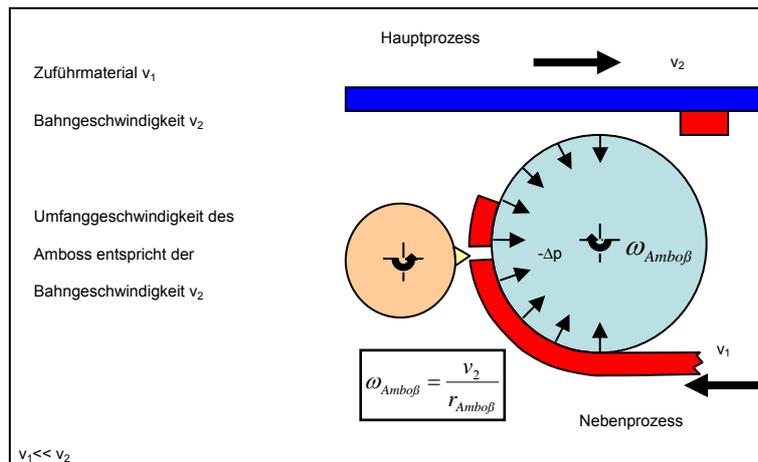
Dabei werden Bahngeschwindigkeiten von bis zu 400 m/min und abhängig von der Produktlänge Taktzahlen von bis zu 3000 Stück/Minute erreicht. Als Produktbeispiele seien hier Inkontinenzprodukte, OP-Abdeckmaterialien sowie medizinische Pflaster und Verbände genannt. Die einzelnen Produktkomponenten werden in so genannten Nebenprozessen vorkonfektioniert und dem Hauptprozess zugeführt. In der Regel laufen die Nebenprozesse im Vergleich zum Hauptprozess mit geringerer Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsdifferenz kann bei den hier aufgeführten Produktgruppen bis zum Faktor 40 betragen. Zum Zeitpunkt der Applikation, d. h. der „Montage“ der im Nebenprozess hergestellten Komponente an den Hauptproduktstrang müssen beide Prozesse synchron laufen. Im

Folgenden werden Applikator-Modelle zur Lösung dieser Aufgabe vorgestellt bzw. erarbeitet.

### 3 Stand der Technik

#### 3.1 Slip-Cut Systeme (Hauptprozess orientierte Systeme)

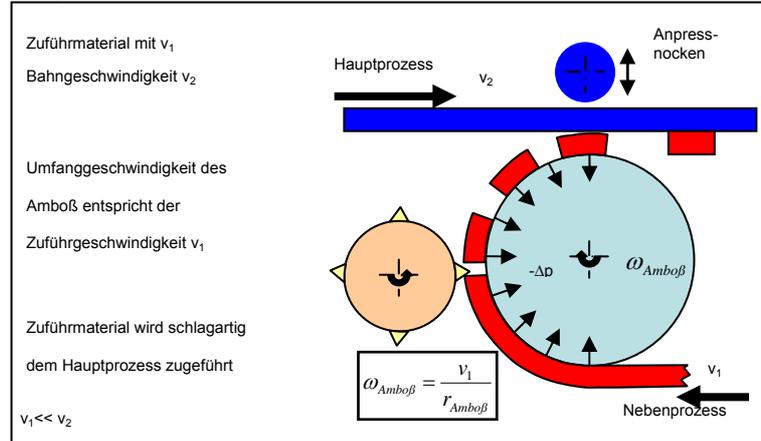
Diese Systeme orientieren sich am Geschwindigkeitsniveau des Hauptprozesses. Der Materialstrang des Nebenprozesses wird mit der Geschwindigkeit  $v_1$  einer mit Vakuum beaufschlagten und mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_{\text{Amboss}}$  rotierenden Ambosswalze zugeführt. Die Konfektionierung erfolgt ebenso unter Schlupf wie die nachfolgende Beschleunigung auf die Geschwindigkeit  $v_2$ .



**Bild 3.1:** Applikator nach dem Prinzip des Slip Cut Systems

### 3.2 Nocken Systeme (Hilfsprozess orientierte Systeme)

Diese Applikatoren arbeiten mit dem Geschwindigkeitsniveau des Nebenprozesses. Der Materialstrang des Nebenprozesses wird mit der Geschwindigkeit  $v_1$  zugeführt. Die Ambosswalze rotiert ebenfalls mit einer Umfangsgeschwindigkeit  $v_1$ . Die Konfektionierung erfolgt ohne nennenswerten Schlupf mit der Geschwindigkeit  $v_1$ . Erst durch die hochfrequente Zustellbewegung eines Nockensystems wird die Materialkomponente des Nebenprozesses beschleunigt und an den Hauptprozess appliziert.



**Bild 3.2:** Applikator nach dem Prinzip des Nocken Systems

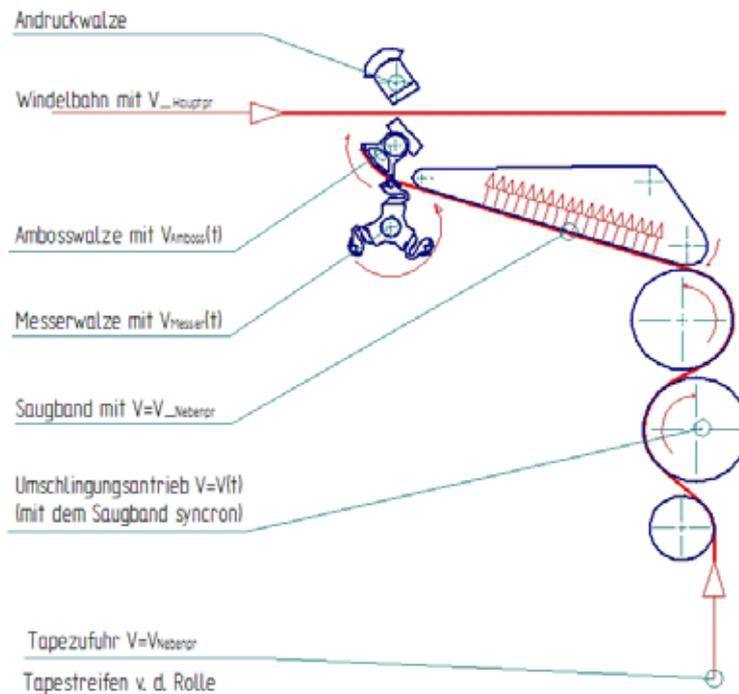
Anforderung	Slip Cut System	Nocken System
Schlupffreier Schnitt	--	+
Flexibilität	--	--
Einstellaufwand	-	--

**Tabelle 3.1:** Systemvergleich

## 4 Lösungsweg

Keine der in Kapitel 3 vorgestellten Lösungen mit ihren Vor- und Nachteilen ist für die Applikation spannungsempfindlicher Windelverschlussysteme als optimale Lösung anzusehen. Dies führte bei der PAUL HARTMANN AG dazu, ein neues eigenes Applikationsverfahren zu entwickeln. Die Applikation der Tapes soll nach dem in **Bild 4.1** dargestellten Funktionsprinzip erfolgen.

Die wesentliche Anforderung an das neue Verfahren ist die, dass im gesamten Applikationsprozess keine Geschwindigkeitsdifferenz (Schlupf) zwischen Haupt- und Nebenprozess auftritt. Darüber hinaus darf auch während des Schnittes keine Differenzgeschwindigkeit zwischen Messer und Amboss auftreten, da dies die empfindlichen Tapes beschädigen könnte, bzw. die Standzeit der Messer nachteilig beeinflusst wird.



**Bild 4.1:** Funktionsprinzip des neuen Tapeapplikators nach dem „non slip system“

Unter Berücksichtigung der genannten Anforderungen ergibt sich für den Applikationsvorgang das ideale Geschwindigkeitsprofil gemäß Bild 4.2.

Betrachtet man die Kurve der idealen Geschwindigkeit so sieht man, am Anfang der Kurve eine Phase mit  $v = \text{const.}$  auf dem Geschwindigkeitsniveau des Nebenprozesses (Schnitt u. Tapeübernahme) dann folgt eine Beschleunigungsphase auf das Geschwindigkeitsniveau des

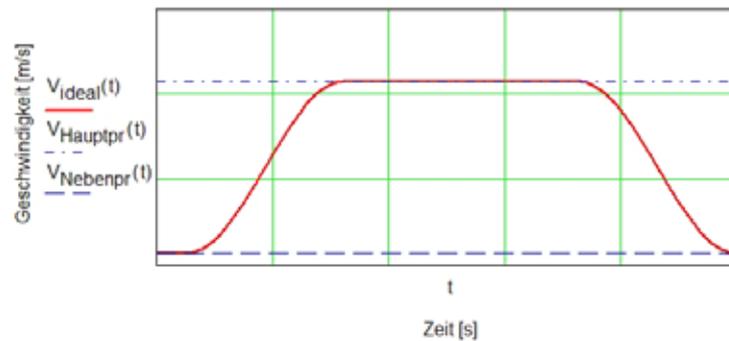
Hauptprozesses, (Applikationsphase) mit anschließender Abbremsung auf das Geschwindigkeitsniveau des Nebenprozesses. Dieser Vorgang wiederholt sich zyklisch, wobei das Intervall dem Kehrwert der Produktionsleistung entspricht. Aus den eben genannten Festlegungen folgt, dass die Kurve folgende Randbedingungen erfüllen muss.

$$(1) t_{Takt} = \frac{1}{P_M}$$

$$(2) V_{ideal}(t)_{max} = V_{Hauptpr} \quad (3) V_{ideal}(t)_{min} = V_{Nebenpr}$$

$$(4) \int_0^{t_{Takt}} V_{ideal}(t) dt = 2\pi * R_{Walze} \quad (5) \int_b^c V_{ideal}(t) dt \geq l_{Tape}$$

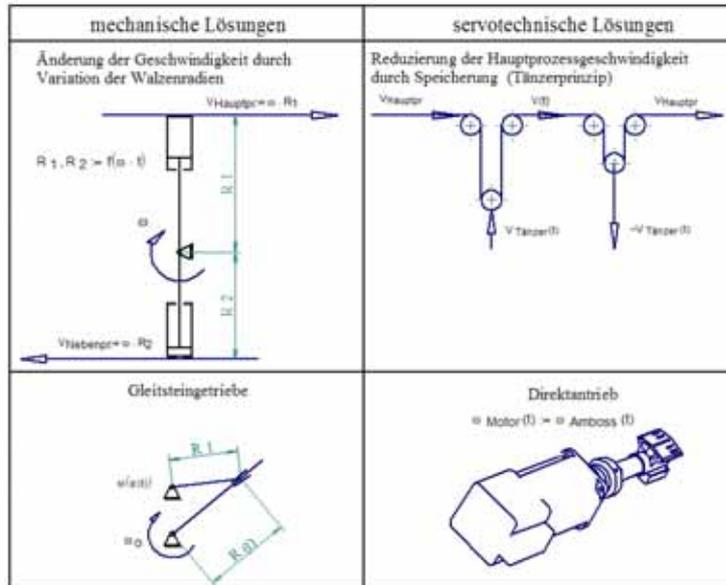
Grundsätzlich besteht das Problem darin, dass die Geschwindigkeit des Hauptprozesses häufig ein Vielfaches der des Nebenprozesses beträgt und gleichzeitig sehr kurze Taktzeiten gefordert sind. Für die hier vorgestellte Applikationslösung ergibt sich resultierend aus der geforderten Produktionsleistung eine extreme Winkelbeschleunigung der Applizierwalze, wie in **Bild 4.4** dargestellt.



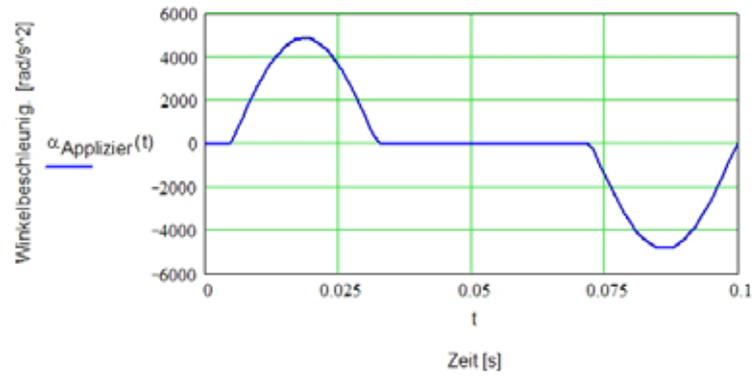
**Bild 4.2:** ideale Geschwindigkeit der Ambosswalze bei der Applikation

Zur Generierung dieser Kurven wurden verschiedene Lösungsansätze diskutiert, wovon zwei in die engere Wahl kamen und bis zur Versuchs- und Fertigungsreife parallel weiter entwickelt wurden. Eine Auswahl von Lösungsansätzen zeigt die folgende Tabelle.

In der ersten Variante erfolgt der Antrieb von Messer- und Ambosswalze (**Bild 4.1**) mit einem ungleichförmig übersetzenden Gleitsteingetriebe, während die zweite Variante als eine servotechnische Lösung mit direkter Anbindung der Walzen an die Servomotoren ausgeführt wird. Das Gleitsteingetriebe wurde ausgewählt da es eine sehr ausgeprägte Rastphase mit annähernd konstantem Übersetzungsverhältnis besitzt und sich gleichzeitig die erforderlichen Übersetzungsverhältnisse, sowie die hohen Beschleunigungen realisieren lassen.

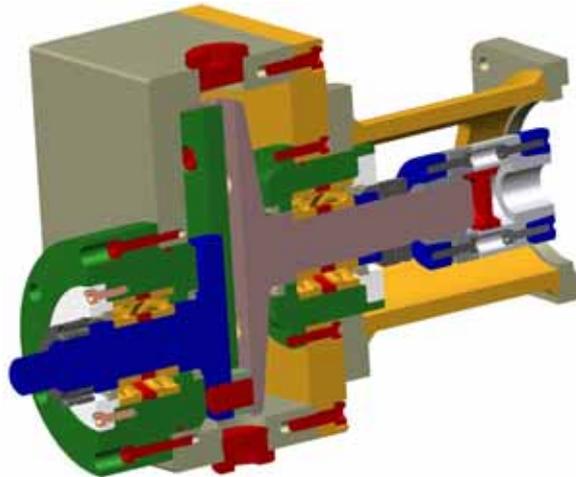


**Bild 4.3:** mögliche Funktionsprinzipien zur Geschwindigkeitsanpassung



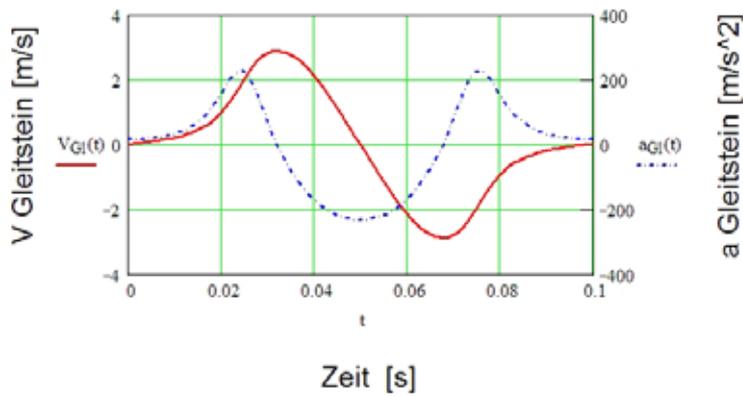
**Bild 4.4:** Winkelbeschleunigung der Applizier- bzw. Ambosswalze

Das Getriebe wird als Gleitsteingetriebe wie im folgenden Bild dargestellt ausgeführt.



**Bild 4.5:** Getriebe als Gleitsteinvariante

Durch die sehr hohen Winkelbeschleunigungen der Abtriebsseite ist der Gleitstein hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt, deshalb wurde dieser zur Verschleißminimierung aus Hartmetall gefertigt. Der Antrieb, mit konstanter Drehzahl erfolgt von der Kupplungsseite her. Die Geschwindigkeit- und Beschleunigung des Gleitsteins stellt das folgende Diagramm dar.

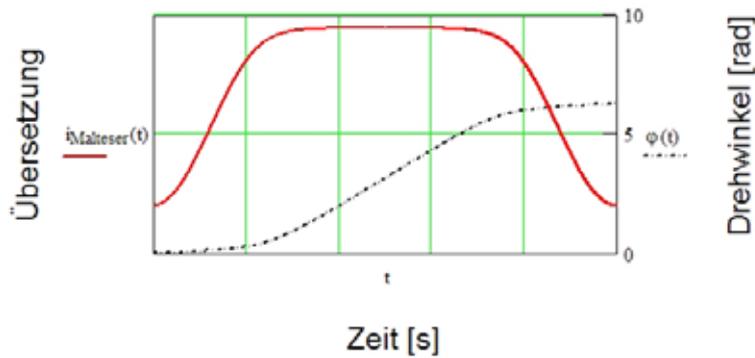


**Bild 4.6:** Geschwindigkeit- und Beschleunigung des Gleitsteins im Getriebe

Nachteilig für die Verwendung eines Gleitsteingetriebes ist das feste Übersetzungsverhältnis, (Abmessungsabhängig) da bei Änderung der Produktabmessung die Getriebe durch neue, auf die geänderten Abmessungen abgestimmte Getriebe ersetzt werden müssen.

$$i_{\text{Malteser}}(b \leq t \leq c) = \frac{V_{\text{Hauptpr}}}{V_{\text{Nebenpr}}} = \frac{l_{\text{Pr od}}}{l_{\text{Tape}}} = i_{\text{erforderlich}}$$

Erforderliche Übersetzung während der Applikationsphase.



**Bild 4.7:** Übertragungsfunktion mit dazugehörigem Drehwinkel, bei einer Umdrehung

Verfolgt man den zweiten Lösungsansatz des Servodirektantriebes weiter, so kommt man nach kurzer Zeit zu dem Ergebnis, dass die erforderlichen maximalen Beschleunigungen der Ambosswalze nur mit kleinen Ambosswalzendurchmessern zu erreichen sind, was wiederum zur Folge hat, dass die Krümmungsradien auf welchen das Tape abgelegt wird zu klein sind um das Tape während der Beschleunigung sicher zu halten, bzw. der restliche „freie“ Winkel nicht zur Beschleunigung der Walze ausreicht.

$$\Delta\varphi_B = \pi - \frac{l_{Tape}}{R_{Amboss}}$$

wobei weiter gilt, dass

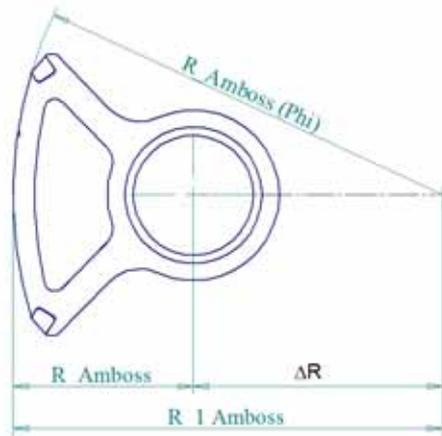
$$\Delta\varphi_B \geq \frac{1}{R_{Amboss}} \int_a^b V_{ideal}(t) dt$$

Aus dieser Abhängigkeit folgt, dass der Radius der Ambosswalze nicht beliebig reduziert werden kann und somit die Massenträgheit der Ambosswalze eine entscheidende Größe für die maximal erreichbare Walzenbeschleunigung ist. Es gilt die folgende Gleichung

$$M_{Motor\_erf}(t) = \alpha_{Appliezier}(t) \sum J_i$$

mit  $J_i = m_i \cdot r_i^2$

Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass mit den erforderlichen Walzenradien kein ausreichender Krümmungsradius zu erreichen war, und daraus folgend die maximal mögliche Massenträgheit der Ambosswalze überschritten wurde. Deshalb konstruierte man eine Ambosswalze welche zwar einen kleinen Applikationsradius und gleichzeitig einen großen Krümmungsradius besitzt. Das Prinzip und auch die bezüglich Massenträgheit und Festigkeit optimierte Ambosswalze stellt Bild 4.8 dar. Das Halten der Tapes auf der Ambosswalze erfolgt über ein aus dem Zentrum eingeleitetes Vakuum.



**Bild 4.8:** Trägheitsoptimierte Ambosswalze mit abgeflachtem Radius

Mit dieser Walzengeometrie ist es möglich das Tape nicht zu stark zu krümmen und gleichzeitig die maximalen Massenträgheitsmomente nicht zu überschreiten. Allerdings bedarf es bei der Kurvenberechnung einer Korrektur in der Form, dass der vom Drehwinkel veränderliche Walzenradius berücksichtigt werden muss. Es gilt dann nicht mehr die Standardgleichung sondern folgende Gleichung

$$V_{ideal}(t) = R_{Amboss} * \omega_{Amboss}(t)$$

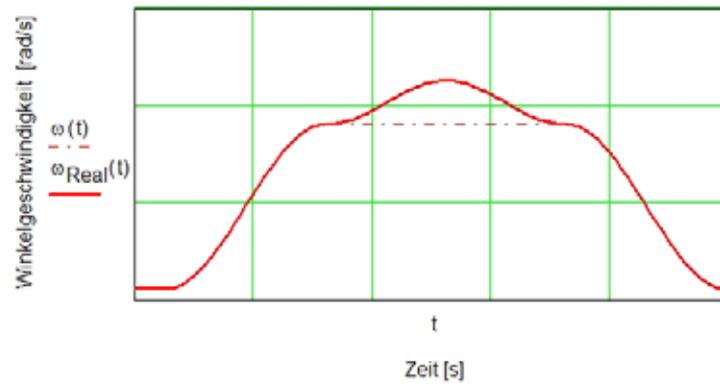
$$V_{ideal}(t, \varphi) = R_{Amboss}(\varphi) * \omega_{Amboss}(t)$$

mit der Bedingung, dass

$$V_{ideal}(b \leq t \leq c) = const. \text{ und}$$

$$R_{Amboss}(\varphi) = R_{Amboss} - \left[ R_{Amboss} * \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) + \Delta R - R_{1Amboss} * \sqrt{1 - \left(\frac{R_{Amboss}}{R_{1Amboss}}\right)^2 * \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)^2} \right]$$

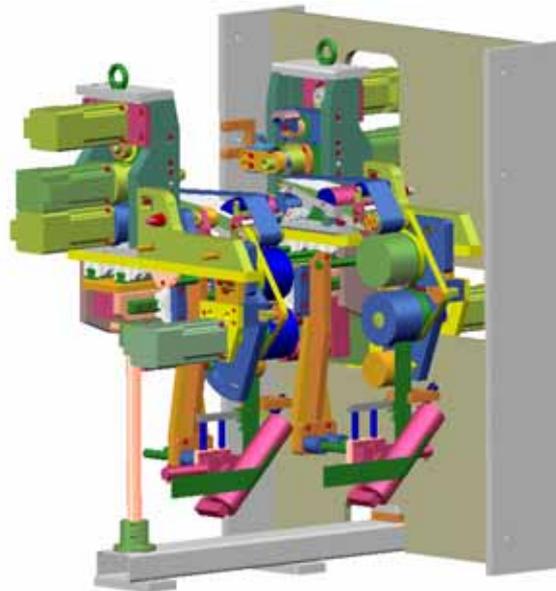
Mit Änderung der Walzengeometrie wie in Bild 4.8 dargestellt ist es nicht möglich die Ambosswalze weiterhin mit dem Malteserkreuzgetriebe anzutreiben, da zum Erreichen der konstanten Umfangsgeschwindigkeit in der Applizierphase die Winkelgeschwindigkeit noch zusätzlich variiert werden muss. Folgerichtig wurde eine Servomotor-Einzelantriebstechnik ausgewählt und realisiert.



**Bild 4.9:** variierte Winkelgeschwindigkeit mit abgeflachter Ambosswalze

## 5 Zusammenfassung

Die Gesamtlösung besteht neben dem bereits vorgestellten Applikator aus zusätzlichen Einheiten, die im Wesentlichen der Materialführung und der lagegenauen Ausrichtung dienen. **Bild 5.1** zeigt eine Gesamtansicht des Systems.



**Bild 5.1:** Gesamtansicht der Prozesseinheit „Applikation“

## 6 Literatur

- /1/ VDI Richtlinie 2727, Lösung von Bewegungsaufgaben mit Getrieben, VDI Handbuch Getriebetechnik, Stand Dezember 1998
- /2/ Studie zur Situation der Medizintechnik in Deutschland im internationalen Vergleich, BMBF, Berlin 2005
- /3/ G. Dittrich, R. Braune, Getriebetechnik in Beispielen, Oldenburg Verlag, 1987
- /4/ BVmed, Branchenreport, 2002
- /5/ Method and Device for a flat Material Web Section, WO 2005/065617A1, Patentschrift

## 7 Verwendete Formelzeichen

$a, b, c$	Zeitabschnitte
$\alpha_{\text{Applizier}}(t)$	Winkelbeschleunigung der Applizierwalze
$i_{\text{erforderlich}}$	erforderliches Übersetzungsverhältnis
$i_{\text{Malteser}}(t)$	Übersetzung des Malteserkreuzgetriebes
$i_{\text{prozess}}$	Prozessübersetzung
$\sum J_i$	Summe aller zu Massenträgheitsmomente
$\Delta\varphi_B$	freier Winkel zur Beschleunigung der Ambosswalze
$\Delta R$	Mittenversatz der abgeflachten Amboss- / Applizierwalze
$l_{\text{Produkt}}$	Länge des Produktes
$l_{\text{Tape}}$	Länge des zu applizierenden Tapes
$m_i$	Einzelmasse
$M_{\text{Motor\_erf}}(t)$	erforderliches Motordrehmoment
$P_M$	Leistung d. Maschine in Produkte/Sekunde
$R_{\text{Amboss}}$	Radius der Amboss- / Applizierwalze
$R_{1\text{Amboss}}$	Abgeflachter Radius der Amboss- / Applizierwalze
$R_{\text{Amboss}}(\varphi)$	Radius der Amboss- / Applizierwalze
$r_i$	Radius der Einzelmasse bezogen auf die Drehachse
$t$	Zeit
$t_{\text{Takt}}$	Zeit zur Applikation eines Tapes
$V_{\text{Amboss}}(t)$	Geschwindigkeit der Amboss-, Applizierwalze
$V_{\text{Hauptpr}}$	Bahngeschwindigkeit des Hauptprozesses

$V_{ideal}(t)$	ideale Geschwindigkeit für den Applizierprozess
$V_{Messer}(t)$	Geschwindigkeitsverlauf der Messerwalze
$V_{Nebenpr}$	Bahngeschwindigkeit des Nebenprozesses
$\omega_{Real}(t)$	Winkelgeschwindigkeit der Applizierwalze

---

**ITNW**  
**Damit Ihr Produkt hält**  
was es verspricht



**Ingenieurtechnik**  
**NordWest**

Die ITNW Ingenieurtechnik NordWest GmbH unterstützt Sie bei der Entwicklung Ihrer neuen Produktidee durch professionelle und bedarfsgerechte Konstruktion, Berechnung und Simulation und sorgt dafür, dass Ihr Produkt auch hält was es verspricht.

Unsere Leistungen auf einen Blick:

- Entwicklungs- und Konstruktionsunterstützung
- Bauteil- und Strukturoptimierung
- Festigkeit und Betriebsfestigkeit
- Lineare, nichtlineare, dynamische und transiente Analysen mittels moderner FEM-Methoden
- Erstellung von Berechnungsmodellen

ITNW Ingenieurtechnik NordWest GmbH  
Tel: +49 441 2050 960 • Fax: +49 441 2050 961  
E-Mail: [email@it-nw.de](mailto:email@it-nw.de)

