

# **Entwicklung eines kontinuierlichen Mischverfahrens zur direkten Profilextrusion**

Der Fakultät für Maschinenbau  
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor-Ingenieurin**

vorgelegte

Dissertation

von

**Dipl.-Ing. Henrike Geier**

geboren am 16.06.1978 in Waren (Müritz)

2007

## **Kurzfassung**

Geier, Henrike

### **Entwicklung eines kontinuierlichen Mischverfahrens zur direkten Profilextrusion**

In der Kautschukindustrie findet das kontinuierliche Mischen trotz einer Vielzahl von Arbeiten, welche die Vorteile dieses Verfahrens beschreiben, kaum eine Anwendung. Dies ist u. a. auf die Anzahl der Prozessschritte, die beim Übergang vom diskontinuierlichen zum kontinuierlichen Mischen zu beachten sind, zurückzuführen. Daher müssen neben der Mischeinheit auch die vor- und nachgelagerten Prozessschritte bekannt sein.

In der vorliegenden Arbeit wird neben dem kontinuierlichen Herstellen von Kautschukmischungen auf einem gleichläufigen Doppelschneckenextruder auch deren weitere Verarbeitung zu einem Profil bzw. Halbzeug erläutert. Dazu wird eine Zahnradpumpe dem Doppelschneckenextruder nachgestellt und direkt an diesen angekoppelt.

Für ein optimales Zusammenwirken des Mixers mit der Zahnradpumpe ist ein konstanter Massestrom notwendig. Die Standardabweichung des Extruderdrehmomentes ein Indikator für die Kontinuität des Massestroms. Die Kontinuität des Massestromes wird durch die Schneckenkonstruktion und die Extruderdrehzahl beeinflusst. Für den kontinuierlichen Mischprozess ist die Masstemperatur prozesslimitierend. Sie kann durch die Umstellung von einer Einspritz- auf eine Durchflussskühlung der Extruder-Gehäuse gesenkt werden.

Für ein konstantes Betriebsverhalten der Doppelschneckenextruder-Zahnradpumpen-Kombination wird ein PI-Regler genutzt. Die PI-Anteile des Reglers werden empirisch bestimmt. Mit der Doppelschneckenextruder-Zahnradpumpen-Kombination wird ein volumetrischer Förderwirkungsgrad  $\eta_{\text{vol}}=0,78$  erreicht.

Stichwort: Kautschuk, kontinuierlicher Mischprozess, direkte Extrusion

## **Abstract**

Geier, Henrike

### **Development of a continuous mixing process for direct extrusion**

Despite there being several papers detailing the advantages of continuous mixing, its application is rarely found in today's rubber industry. A partial explanation for this may come from the high number of process steps which must be taken into consideration during the transition from discontinuous to continuous.

In addition to the continuous mixing of rubber using a co-rotating twin-screw extruder the processing of profiles or extrudates is determined.

To achieve this, a gear pump is mounted at the end of the twin screw extruder. In order to gain the optimum efficiency of the mixer and gear pump a constant mass flow is necessary. The extruder torque level is a good indicator of the continuity. This continuity may be influenced by screw construction and speed. The mass temperature, a limiting factor of continuous mixing, can be lowered by exchanging from an injection cooling system to open system.

A PI controller is used to maintain the constant process behaviour of the twin screw extruder/gear pump combination. The PI regulation factors are determined empirically. A volumetric efficiency of  $\eta_{vol}=0,78$  can be found using the twin screw extruder / gear pump combination.

keywords: rubber, continuous mixing process, direct-extrusion

# Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	V
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>3 Stand der Forschung</b>	<b>5</b>
3.1 Kontinuierliche Herstellung von Kautschukmischungen.....	5
3.2 Direkte Extrusion.....	8
<b>4 Grundlagen</b>	<b>10</b>
4.1 Herstellung von Kautschukmischungen.....	10
4.1.1 Bestandteile .....	10
4.1.2 Herstellung.....	13
4.2 Doppelschneckenextruder.....	16
4.2.1 Konstruktive Gestaltung.....	18
4.2.2 Strömungsverhalten im Doppelschneckenextruder .....	21
4.2.3 Druckaufbau im Doppelschneckenextruder .....	30
4.3 Zahnradpumpe .....	33
4.3.1 Aufbau und Funktionsprinzip.....	33
4.3.2 Spezifisches Fördervolumen .....	34
4.3.3 Volumetrischer Förderwirkungsgrad .....	35
4.4 Regelung.....	36
<b>5 Versuchsaufbau und Versuchsablauf</b>	<b>39</b>
5.1 Versuchsaufbau .....	39
5.1.1 Dosiergeräte.....	40
5.1.2 Doppelschneckenextruder.....	40
5.1.3 Zahnradpumpe .....	42
5.1.4 Regelung der Zahnradpumpe .....	43
5.2 Materialien.....	44
5.2.1 Gasphasen-EPDM.....	45
5.2.2 Füllstoff.....	45

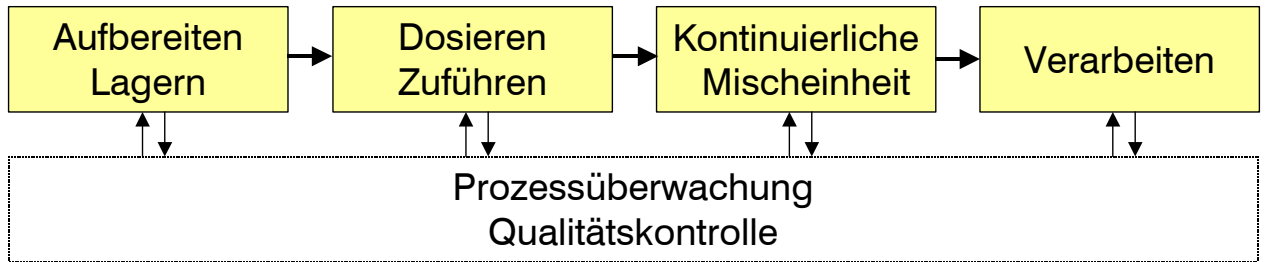
5.2.3	Weichmacher .....	46
5.2.4	Rubber Filler Composite .....	46
5.3	Prüfverfahren.....	46
5.3.1	Scherscheiben-Viskosimeter nach Mooney .....	47
5.3.2	Verweilzeit .....	47
5.3.3	Hochdruckkapillarviskosimeter (HKV) .....	49
<b>6</b>	<b>Ergebnisse zum kontinuierlichen Mischen</b>	<b>52</b>
6.1	Einfluss der Schneckendrehzahl .....	52
6.2	Einfluss der Schneckenform.....	55
6.2.1	Einfluss von Förderrichtung und Knetelementeinbau .....	55
6.2.2	Kombination verschiedener Knetelemente.....	56
6.2.3	Einfluss der Temperierung.....	59
<b>7</b>	<b>Ergebnisse zur Kopplung von Extrusion mit einer Zahnradpumpe</b>	<b>61</b>
7.1	Analyse des Druckverlaufs entlang eines Doppelschneckenextruders	61
7.1.1	Experimentelle Ergebnisse .....	61
7.1.2	Vergleich experimenteller mit berechneten Ergebnissen.....	64
7.2	Betriebsverhalten ohne Regelung .....	66
7.3	Betriebsverhalten mit Regelung.....	68
7.3.1	Einfluss der Parameter des PI-Reglers .....	68
7.4	Einfluss der Verfahrensparameter .....	71
7.4.1	Einfluss des Eingangsdrucks .....	71
7.4.2	Einfluss der Drehzahl des Doppelschneckenextruders .....	76
7.4.3	Variation des Drucks im Austrittsquerschnitt der Pumpe.....	79
7.4.4	Vergleich zur Regelung der Einschneckenextruder-Zahnrad- pumpen-Kombination .....	82
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>86</b>
	Literatur	90

# 1 Einleitung

Im Bereich der Kunststoffherstellung und Verarbeitung sowie für die Produktion dynamisch vulkanisierter thermoplastischer Elastomere sind kontinuierliche Mischverfahren Stand der Technik [1]. Die Entwicklung und Optimierung von Maschinen- und Verfahrenskonzepten eröffnet auch der Kautschukindustrie die Möglichkeit, ihre Mischungen mit geringen Qualitätsschwankungen und niedrigem Energie- und Raumbedarf kontinuierlich zu produzieren [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Heute werden Kautschukmischungen in der Regel batchweise in Innenmischern und auf Walzwerken hergestellt. Die Technologie ist im wesentlichen über 90 Jahre unverändert geblieben. Vor- und nachgeschaltete Prozessschritte sowie die Form der Rohstoffe sind dem diskontinuierlichen Prozess angepasst. Bedingt durch die Diskontinuität dieses Prozesses kann es zu Variationen der Mischungen und der Produkte kommen [8, 9]. Mit Hilfe eines kontinuierlichen Mischverfahrens könnten diese Variationen verhindert werden, da in einem kontinuierlichen Mischprozess der Energieeintrag in die Kautschukmischung für jedes Volumenelement konstant ist. Der kontinuierliche Prozess vereinfacht zudem die Automation und ermöglicht eine verbesserte Verfahrenskontrolle. Einen weiteren Vorteil des kontinuierlichen einstufigen Mischprozesses im Gegensatz zum diskontinuierlichen Mischen ist die Einsparung von Prozessschritten. Dadurch wird der Personaleinsatz und gegebenenfalls auch der Energieeintrag verringert. Energieverbrauchsspitzen, die während des Anfahrprozesses eines Innenmischers entstehen, werden vermieden.

Kontinuierliches Mischen bedeutet jedoch nicht nur die Umstellung eines einzelnen, separaten Prozessschrittes, sondern einer ganzen Prozesskette, wie sie in Bild 1.1 schematisch dargestellt ist.



**Bild 1.1:** Kontinuierlicher Mischprozess mit vor- und nachgelagerten Prozessstufen

Diese Umstellung beinhaltet die dem Prozess vorgelagerte Aufbereitung und Lagerung sowie die Dosierung und Zuführung der Rohstoffe als auch die der Mischeinheit nachgeschaltete Verarbeitung zu Profilen und Halbzeugen. Weiterhin muss für die kontinuierliche Prozessführung in der Kautschukindustrie eine geeignete Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle verfügbar sein.

Das kontinuierliche Mischen mit Kautschuk wird seit über sechzig Jahren diskutiert [10, 11 12 13 14]. Die dargestellten Vorteile des kontinuierlichen Mischverfahrens haben bisher jedoch noch nicht zur Einführung der neuen Technologie geführt. Ein Grund dafür ist das häufig isolierte Betrachten des Mischprozesses in früheren Arbeiten. Die vor- und nachgeschalteten Prozessschritte wurden oftmals vernachlässigt. Die Chancen zur Einführung des kontinuierlichen Mischens in laufende Betriebe steigen, wenn neben der Mischeinheit auch das Umfeld der vor- und nachgelagerten Prozesse untersucht und beschrieben ist.