

Anwendung der Zahnradpumpe in Verbindung mit dem Gummiextruder zur Profil- und Schlauchherstellung

C. Köhler, P.Köhler

RUBICON GmbH Halle/Saale

1. Einführung

Zahnradpumpen werden in der Gummiindustrie hauptsächlich in zwei Konfigurationen eingesetzt:

1. als selbständiger Zahnradextruder, der direkt mit Mischungstreifen beschickt und überwiegend als Strainer verwendet wird,
2. als Zahnradpumpe, die zwischen einem herkömmlichen oder auch speziell gestalteten Gummiextruder und dem Extrusionswerkzeug (Spritzkopf) eingebaut ist.

Die nachfolgenden Untersuchungen befassen sich mit einem konventionellen Kautschukextruder, welchem eine Zahnradpumpe unmittelbar nachgeschaltet ist. Die Besonderheit einer derartigen Kombination liegt im wesentlichen darin, dass die verfahrenstechnischen Prozesse „Plastifizieren - Homogenisieren“ und „Druckaufbau“ voneinander getrennt sind. Dadurch ist es möglich, die Produktivität einer Extrusionsline zu erhöhen, sowie gleichzeitig Ausschuss und Toleranzen zu minimieren.

Für eine genauere Charakterisierung der verfahrenstechnischen Eigenschaften dieses Extrusionskonzeptes wurden umfangreiche Versuche durchgeführt. Als Versuchsanlage stand ein konventioneller Extruder mit einem Schneckendurchmesser von 150 mm in Verbindung mit einer pfeilverzahnten Zahnradpumpe Typ ZRP 150-2 der Firma RUBICON Gummitechnik und Maschinenbau GmbH zu Verfügung. Beide Aggregate wurden über eine Druck-Drehzahlregelung gekoppelt. Dabei regelt die SPS der Zahnradpumpe den vorgegebenen Einlaufdruck über die Schneckendrehzahl des Extruders. Die ermittelten Messdaten wurden mit einem PC in frei wählbaren Zeitintervallen (MI) aufgezeichnet. Die gemessenen Größen sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1 : Messdatenerfassung

Messgröße	Messgerät	Messstelle	Abbk.
Druck	Druckgeber	Ein- und Auslauf der Zahnradpumpe	$p_{\text{ein}}, p_{\text{aus}}$
Massetemperatur	Temperaturschwert ^{E1}	Ein- und Auslauf der Zahnradpumpe	$T_{\text{ein}}, T_{\text{aus}}$
Drehzahl Extruder / ZRP	elektronisch	Steuerung	$n_{\text{Extr}}, n_{\text{ZRP}}$

E1 : Für die Versuche wurde ein Temperaturmessschwert bestehend aus einem Mantelthermoelement mit einer Messperle bei ca. $0,25 \cdot D_{\text{Kanal}}$ des Fließkanaldurchmessers verwendet. Dieser empfindliche Massetemperaturgeber zeichnet sich besonders durch eine geringe Zeitkonstante aus.

Als Mischungen wurden eine EPDM- (Material A) sowie eine weiche Nitrilkautschukmischung (Material B) im Shore A Härte-Bereich von 50 – 55° verwendet.

2. Förderverhalten von Zahnradpumpen

Zahnradpumpen sind hydrostatische Verdrängerpumpen und arbeiten nach dem Prinzip der volumetrisch abgeschlossenen Förderung. Dabei bildet das Gehäuse mit den Zahnzwischenräumen der Zahnräder mehrere nahezu abgeschlossene Kammern in denen das Fördermedium (Kautschukmischung) von der Nieder – zur Hochdruckseite gefördert wird. Beide Seiten sind durch das Anlaufen der Zähne an der Kopfseite voneinander getrennt. Durch die Rotation des Zahnradpaares wird der einlaufseitige Verdrängerraum (Zahnlücken) freigegeben und mit Kautschukmischung gefüllt. Auf der Auslaufseite wird der Verdrängerraum durch das Eingreifen der Zähne in die Lücken wieder kleiner und das Fördermedium somit verdrängt.

Für ein optimales Förderverhalten ist es notwendig, einen Mindesteinlaufdruck nicht zu unterschreiten. Abb. 1 zeigt im ersten Zeitabschnitt (< 220 s) einen zu geringen Einlaufdruck. Dadurch werden die Zahnzwischenräume nicht vollständig mit Kautschukmischung gefüllt. Die Folge sind starke Druckschwankungen in kurzen Zeitintervallen im Auslauf. Im zweiten Zeitabschnitt (> 220 s) wird der Einlaufdruck angehoben. Die Zahnzwischenräume sind vollständig gefüllt und der Auslaufdruck verläuft konstant.

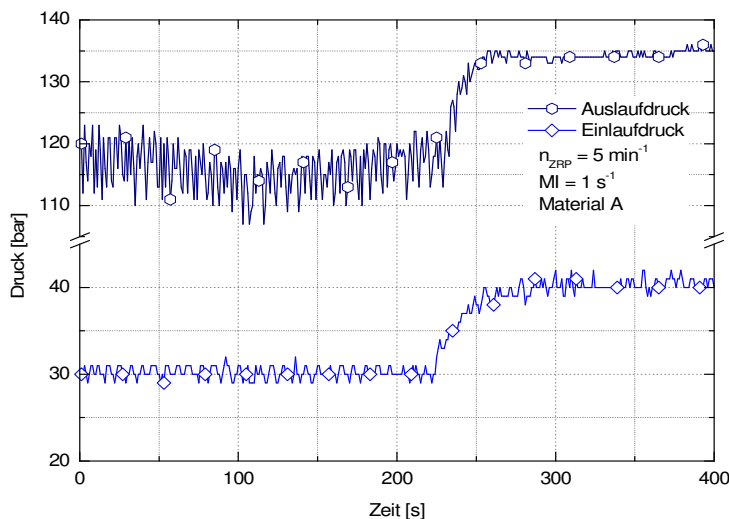


Abb. 1 : Mindesteinlaufdruck

Es hat sich gezeigt, dass der Fülldruck hauptsächlich vom Fließverhalten der Kautschukmischung abhängt. So beträgt der Mindestfülldruck von Material A 35 bar, der von Material B hingegen nur 20 bar.

2.1 Drehzahlabhängigkeit des Massedurchsatzes

Bei Vernachlässigung einer Leckströmung, welche bei neuen Zahnradpumpen sehr gering ist, besteht ein direkt proportionaler Zusammenhang zwischen dem Volumenstrom und der Zahnradpumpendrehzahl. Der aus dem Werkzeug austretende Massestrom wurde für verschiedene Zahnradpumpendrehzahlen bestimmt und ist im folgenden Diagramm aufgetragen.

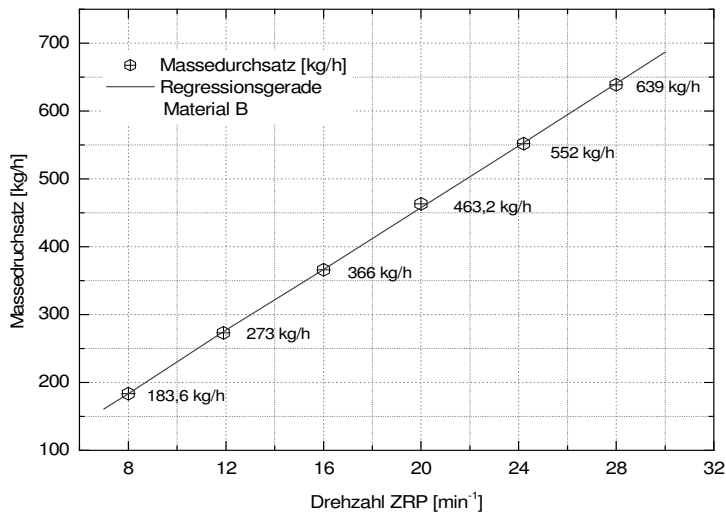


Abb. 2 : Gemessener Massedurchsatz über Drehzahl

Die Abweichungen der Messwerte von der Regressionsgeraden sind sehr gering. Zum Aufbau einer Regelstrecke für den Massedurchsatz bzw. die davon beeinflussten Größen, wie Produktgeschwindigkeit oder –querschnittsabmessungen bietet damit die Zahnradpumpendrehzahl hervorragende Eigenschaften.

2.2 Gegendruckabhängigkeit des Massedurchsatzes

Extruder weisen ein gegendruckabhängiges Förderverhalten auf. Bedingt durch das offene Fördersystem der Schnecke ist der Massedurchsatz abhängig vom Werkzeugdruck. Demgegenüber steht die abgeschlossene Kammerförderung in Zahnradpumpen.

Durch Variation der Werkzeugwiderstände und damit des Druckes im Pumpenauslauf bei zugleich konstanter Zahnradpumpendrehzahl, lässt sich die Druckabhängigkeit des Massedurchsatzes bestimmen. Das Ergebnis, in Abb. 3 dargestellt, zeigt, dass im untersuchten Druckbereich der Massedurchsatz unabhängig vom Werkzeugegendruck ist. Dies belegt die praktische Funktion des volumetrischen Förderprinzips der Zahnradpumpe in Verbindung mit einer vernachlässigbaren Leckströmung.

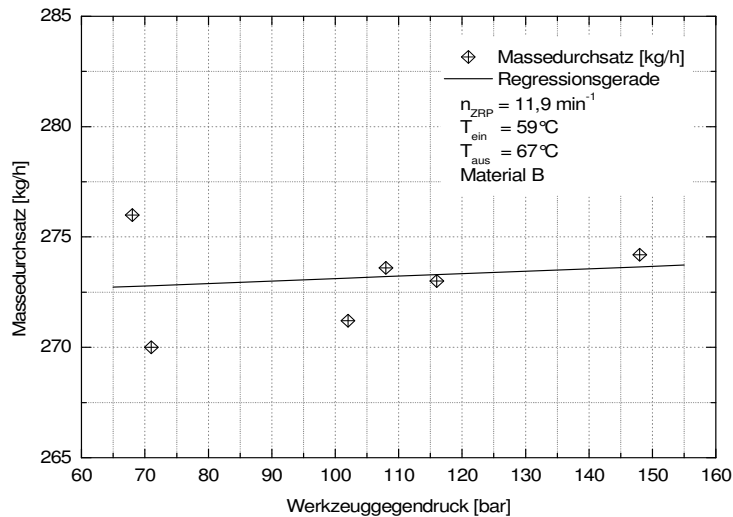


Abb. 3 : Massedurchsatz über Werkzeugdruck

3. Massedruck

Die Schwankungen des Massedruckes im Werkzeug bzw. vor der Düse (Matrize) stehen im unmittelbaren Zusammenhang mit den Maßschwankungen der extrudierten Produkte. Hierbei können Langzeitschwankungen und Kurzzeitschwankungen beobachtet werden.

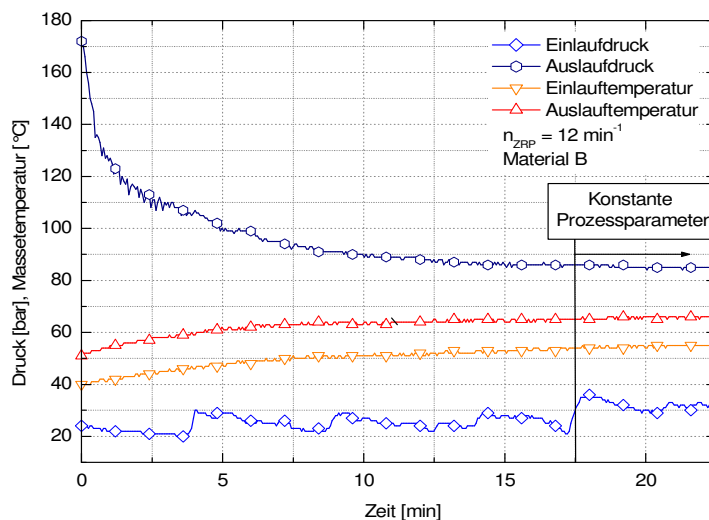


Abb. 4 : Massedruck über Produktionszeit Anfahrprozess

Die Langzeitschwankungen (s. Abb. 4) treten insbesondere im Anfahrprozess der Extrusionsanlage, bei Änderungen der Schneckendrehzahl oder der Temperaturen bis zum Erreichen eines stationären Betriebszustandes auf. Sie können sich bei Extrudern mit Schneckendurchmessern von 60 – 150 mm über einen Zeitraum von 10 bis 30 min erstrecken. Verantwortlich dafür ist im wesentlichen der thermische Gleichgewichtszustand der Maschine, welcher sich zeitabhängig einstellt. Diese

Schwankungen bedingen das „Nachstellen“ der Anlage während des Einfahrprozesses, um die Extrudatgeschwindigkeit an die Nachfolgeeinrichtung anzupassen oder eine gewünschte Maßhaltigkeit zu erzielen.

Gemäss Abb. 4 tritt dieser Einfahrprozess im Bezug auf Massedruck und -temperatur ebenso bei Extruder Zahnradpumpen Kombinationen auf. Im Unterschied zum Extruder ohne Zahnradpumpe bleibt jedoch der Massedurchsatz infolge des volumetrischen Förderprinzips der Zahnradpumpe weitgehend konstant. Das Ergebnis ist ein deutlich verkürzter Einfahrprozess.

Kurzzeitschwankungen mit Druckänderungen innerhalb von Sekunden bis ca. 2 - 3 Minuten haben ihre Ursachen in Beschickungsschwankungen, thermischen und stofflichen Inhomogenitäten. Für das in Abb. 5 dargestellte Diagramm wurden bewusst über eine manuelle Steuerung der Extruderdrehzahl starke Einlaufdruckschwankungen verursacht.

Diese Schwankungen sind mit herkömmlicher Extrusionstechnik manuell nicht „nachstellbar“ und führen demzufolge zu den mehr oder weniger großen Maßtoleranzen in der Gummiextrusion.

Druckschwankungen im Einlauf der Zahnradpumpe von beispielsweise bis zu 50 bar können so vollständig kompensiert werden. Unabhängig der Einlaufdruckschwankungen werden am Auslauf +/- 0,5 bis 1 bar Schwankungen gemessen, welche im Messfehlerbereich liegen.

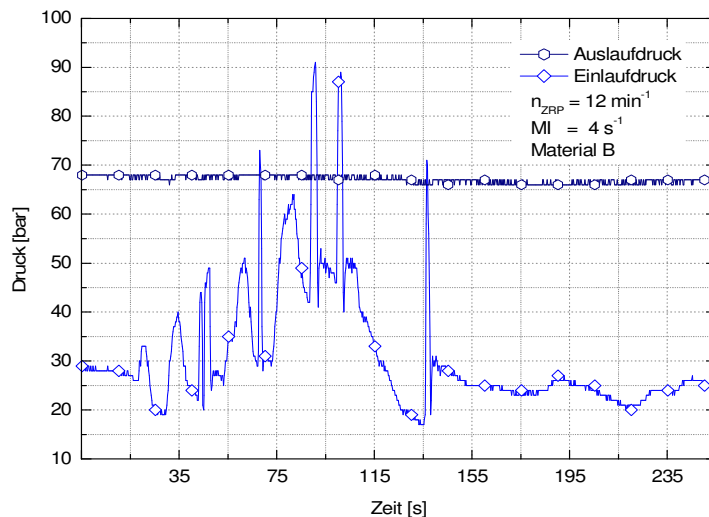


Abb. 5 : Massedruck über Produktionszeit

4. Einfluss der Zahnradpumpe auf die Massetemperaturentwicklung

4. 1 Drehzahleinfluss auf die Massetemperatur

Der Einfluss unterschiedlicher Zahnradpumpendrehzahlen auf die Massetemperatur - entwicklung ist Abb. 6 dargestellt.

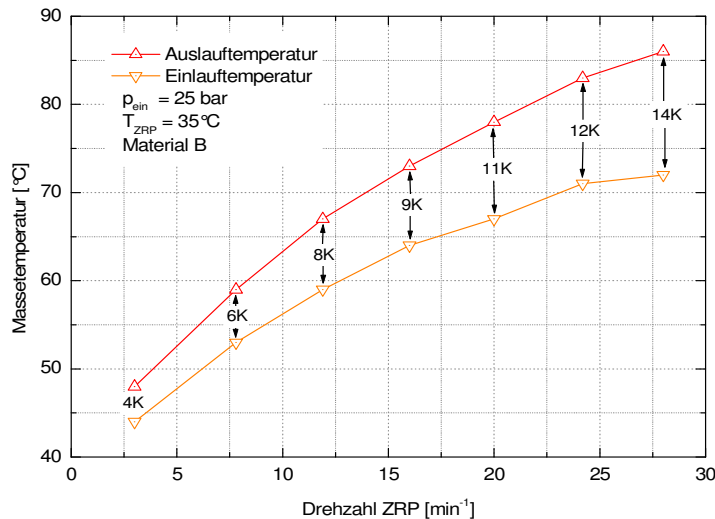


Abb. 6 : Temperaturverlauf über Drehzahl

Die durch die Zahnradpumpe bedingte Temperaturerhöhung steigt mit anwachsender Zahnradpumpendrehzahl als Folge der Zunahme von Schergeschwindigkeit bzw. Schererwärmung.

Im allgemeinen wird angestrebt, dass durch die Einbringung eines zusätzlichen Aggregates, wie einer Zahnradpumpe, eine möglichst geringe Temperaturerhöhung entsteht, um Anvulkanisation oder andere vorzeitige Reaktionen zu vermeiden.

Allerdings kann eine gezielte Temperatureinbringung zu einer Verkürzung der Vulkanisationszeit führen. Der Vorteil ist dabei, dass die Wärme sehr effizient durch Scherung über den gesamten Materialquerschnitt eingebracht wird. Das gedruckunabhängige Förderverhalten bewirkt dabei eine kurze, konstante Verweilzeit des „heißen“ Materials nach der Zahnradpumpe. Somit besteht nur eine geringe Gefahr der Anvulkanisation.

Soll diese Temperaturerhöhung dennoch gering gehalten werden, muss die Zahnradpumpe in einem niedrigen Drehzahlbereich gefahren werden. Es ist daher ratsam, bei der Zahnradpumpenauswahl den gewünschten Massedurchsatz nicht erst im oberen Drehzahlbereich zu erreichen.

4.2 Einfluss der Pumpentemperierung auf die Massetemperatur

Die untersuchte Zahnradpumpe der Firma RUBICON verfügt über eine Temperierung sowohl des Pumpengehäuses als auch der Zahnräder selbst.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass der Einfluss der Temperierung auf die Massetemperatur gering ist.

Das folgende Diagramm (Abb. 7) hingegen zeigt einen deutlichen Einfluss der Gehäuse / Zahnrad Temperierung auf die Massetemperatur. Dieser Nachweis ist nur deshalb möglich, da bei den vorliegenden Versuchen sehr empfindliche Massetempertursensoren verwendet wurden, die eine geringe Zeitkonstante aufweisen.

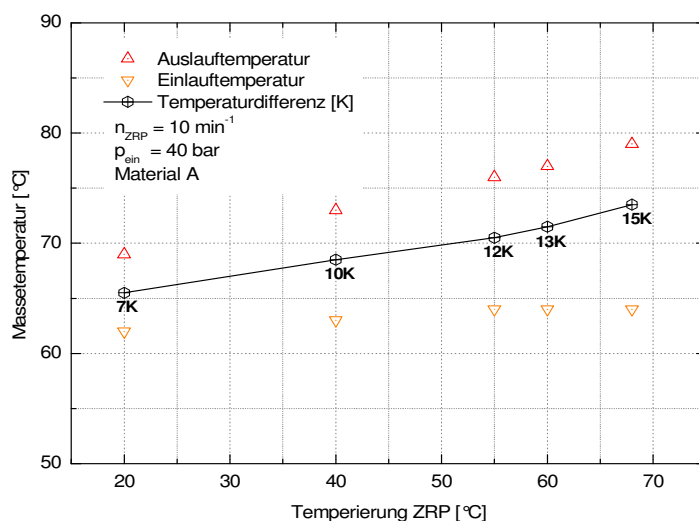


Abb. 7 : Temperaturdifferenz Ein – Auslauf über Temperierungstemperatur

Es ist davon auszugehen, dass dieser Einfluss bei größeren Zahnradpumpendrehzahlen aufgrund der geringeren Verweilzeit abnehmen wird.

4.3 Einfluss des Werkzeuggedruckes auf die Massetemperatur

Bei einem herkömmlichen Gummiextruder führt eine Erhöhung des Werkzeuggedruckes zu einem signifikanten Anstieg der Massetemperatur als Folge eines höheren Druckströmungsanteils im Schneckenkanal.

Durch das Entkoppeln von „Plastifizieren“ und „Druckaufbau“ mit einer Extruder / Zahnradpumpen Kombination bleibt der Druckströmungsanteil im Extruder bei gleichem Einlaufdruck konstant. Dies hat zur Folge, dass die Verweilzeit und folglich auch die Massetemperatur des Materials bezogen auf Extruder und Zahnradpumpe vom Gegendruck unabhängig ist (Abb. 8).

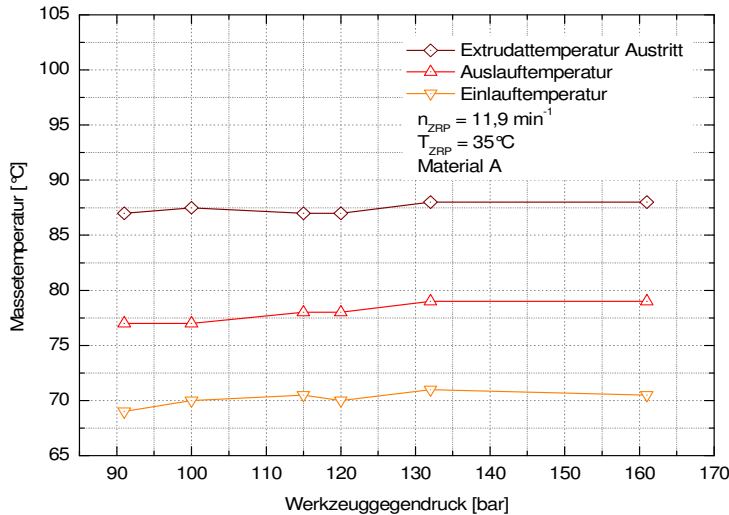


Abb. 8 : Massetemperaturen Ein – Auslauf über Werkzeuggedruck

Damit eignet sich die Zahnradpumpe besonders zur Verarbeitung von thermisch sensiblen Mischungen bei einem notwendigen Aufbau von hohen Gegendrücken.

5. Zusammenfassung

Zahnradpumpen in Verbindung mit konventionellen Extrudern bieten eine gute Möglichkeit, die komplexen verfahrenstechnischen Prozesse bei der Extrusion in 2 separate und optimierbare Einheiten aufzuteilen.

Während der im wesentlichen herkömmliche Extruder, ausgerüstet mit Speisewalze, einen sicheren und stabilen Einzug der Kautschukmischung, das Plastizieren und Homogenisieren übernimmt, erzeugt die angeschlossene Zahnradpumpe einen konstanten Förderstrom, der nahezu unabhängig vom Werkzeuggedruck ist. Speziell beim Einsatz von Vakuumextrudern verhindert dieses System ein Überfluten der Entgasungsöffnung selbst bei hohen Werkzeuggedrücken (Abb. 9)

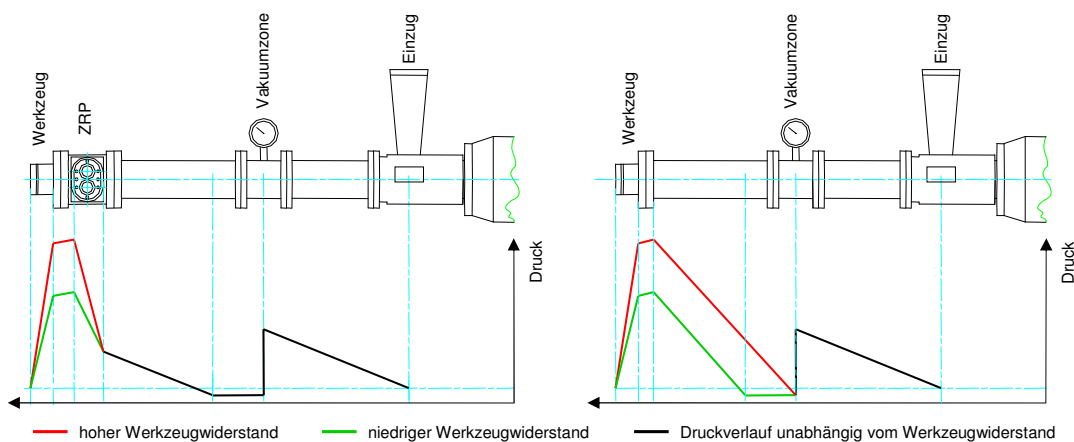


Abb. 9 : Prinzipieller Druckverlauf entlang der Förderrichtung eines Vakuumextruders

Kautschukmischungen, die zu hohen Druckschwankungen neigen, lassen sich in Kombination mit einer Zahnradpumpe mit deutlich reduzierten Maßtoleranzen extrudieren. Dies spart Material bei gleichzeitiger Verringerung der Ausschussrate.

Ein online-Strainern der Mischung mit Siebeinbau zwischen Zahnradpumpe und Düse erhöht nicht die Rückstömung im Extruder, wodurch ebenfalls ein thermisch stabiler Prozess ohne Anvulkanisation gefahren werden kann.

Durch einen gezielten, effizienten Energieeintrag lässt sich die Vulkanisationszeit entsprechend verkürzen. Dies spart Energie und erhöht die Produktivität.

Der Anfahrprozess einer Extrusionsanlage im Sinne des Nachjustierens der Stellgrößen ist besser kontrollierbar und lässt sich so ebenfalls verkürzen.

Die dargestellten technologischen Abhängigkeiten lassen Spielräume für eine Optimierung der Zahnradpumpenauswahl und der Verfahrensparameter erkennen.

Obwohl der Einsatz einer Zahnradpumpe in der Kombination mit einem konventionellen Extruder sicher viele Vorteile aufweist, sollte immer am konkreten Fall über Notwendigkeit und die Wirtschaftlichkeit einer möglichen Investition entschieden werden.