

Zeitsignale im Massenstrom eines Linearschwingförderers zur Nutzung für Regelungsaufgaben

Trofimov, Igor; Jahr, Andreas

In: IFToMM D-A-CH Konferenz / Vierte IFToMM D-A-CH Konferenz 2018

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt.

Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: <https://doi.org/10.17185/duepublico/45302>

URN: <urn:nbn:de:hbz:464-20180213-114641-8>

Link: <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet?id=45302>

Zeitsignale im Massenstrom eines Linearschwingförderers zur Nutzung für Regelungsaufgaben

M.Sc. Igor Trofimov und Dr.-Ing. Andreas Jahr, Hochschule Düsseldorf, FMDauto – Institut für Produktentwicklung und Innovation 2018

Bei den Fördersystemen für Schüttgüter, wie z.B. Medikamente oder andere Granulate, spielt eine genaue Regelung des Massenstroms des zu fördernden Produkts eine entscheidende Rolle. Der Massenstrom wird meist durch unabhängiges Messen sowohl der Masse als auch der Geschwindigkeit des zu fördernden Gutes erfasst.

Während für die Ermittlung der Fördermasse sich eine einfache Gewichtskraftmessung anhand eines Kraftsensors (Wägemesszelle) sehr gut eignet, können zur Erfassung der Geschwindigkeit des Förderstroms unterschiedliche Methoden angewendet werden. Zurzeit zu den etablierten Messverfahren gehören: kamerabasierte Bildanalyseverfahren, Auswertung der Reflektionswellen eines Mikrowellensenders und eine differentielle Abwägung von diskreten Materialmengen. Darüber hinaus wird die Fördergeschwindigkeit an den anderen Systemen nicht gemessen, sondern durch bestimmte physikalische Bedingungen festgelegt, wie zum Beispiel eine definierte Fallhöhe oder Drehzahl des Schnecken-, Schaufelrades oder des Förderbandantriebes (Abb. 1).



Abb. 1 Messschuppenwaage (links)¹ erfasst die Fördergeschwindigkeit durch Differenzieren der resultierenden Beschleunigungskraft des abrutschenden Produktes nach der Zeit. Integralwaage (mittig)² Abnahme des Systemgewichts pro Zeiteinheit. Bandwaage (rechts)³ Die Geschwindigkeitsabnahme erfolgt über inkrementelle Drehgeber an dem Förderbandantrieb.

¹ Quelle: <http://www.rembe.de/einzelansicht-produkt/product/c-lever>. Verfügbar am 25.08.2013

² Quelle: <http://www.epa-elektronik.de/index.php/de/produkte/integraldosiergeraete-loss-in-weight>. Verfügbar am 18.12.2017

³ Quelle: <http://www.epa-elektronik.de/index.php/de/produkte/bandwaagen>. Verfügbar am 18.12.2017

Bei hohen Anforderungen an Genauigkeit spricht man entweder über sehr komplexe Verfahren und teure Messsysteme und/oder über Unterbrechungen des fließenden Materialtransports. Eine genauere und für verschiedene Schüttgüter universelle Geschwindigkeitsmessung ist immer noch sehr schwierig und teuer.

Im Fokus der aktuellen Forschung stehen Systeme mit einer kontinuierlichen Erfassung der Masse und der Geschwindigkeit eines konstant bewegenden Fördergutes zur Ermittlung des Massenstroms. Zu denen gehören vor allem die Bandwaagen, die Prallplattenwaagen, die Coriolis-Massemesser oder die dynamischen Schuppen-Waagen sowie ihre Kombinationen (Abb. 1).

Im Forschungsinstitut FMDauto an der Hochschule Düsseldorf liegt eine innovative Idee einer universellen Low-Cost Massenstromregelung aufgrund sensorloser Erfassung Schüttgutgeschwindigkeit für Schüttgutfördersysteme (Linearförderer) vor.

Die aktuelle Forschung widmet sich der Applikation der Massenstromregelung auf einem Linearschwingförderer im Sinne der Richtlinie VDI 2333 mit einer frequenz- oder amplitudengesteuerten Fördergeschwindigkeit.

Kern der Idee besteht in Erfassung und Auswertung des Zeitsignals des wiegenden Sensors (Abb. 2 rechts), welches dank einer speziellen Kinematik der Fördereranlage (Abb. 2 links) und einer in dem konstanten Förderstrom erzeugten Massendiskontinuität zustande kommt.

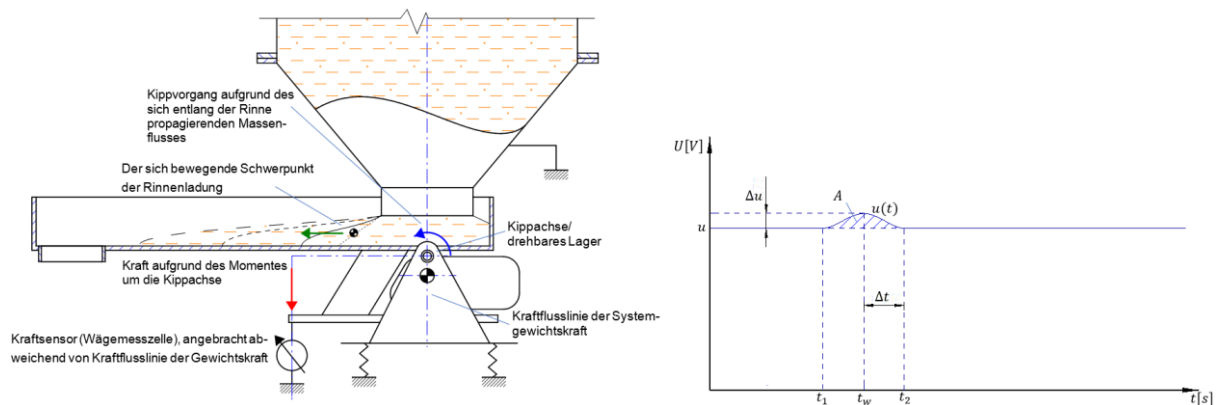


Abb. 2 Aufbau und kinematisches Schema eines Vibrationsförderers für Schüttgut (links), das zu erwartende Zeitsignal des Kraftsensors aufgrund Bewegung in einem konstanten Förderstrom einer lokalen Massendiskontinuität. Der Bereich A weist auf die gesamte Massenfehlerbelastung des Vorganges hin (rechts).

Eine Diskontinuität im sonst konstanten Materialfluss entsteht durch Variation der Fördergeschwindigkeit. Durch eine kurzfristige Veränderung der Fördergeschwindigkeit ist es möglich, an der Mündung des Bunkers lokale Volumen- bzw. Massenveränderungen (Abb. 2) entstehen zu lassen.

Es ist zu erwarten, dass die Masse des zu fördernden Schüttgutes, die sich momentan auf der Förderrinne eines Linearschwingförderers befindet, konstant bleibt. Sie sollte nicht von der Geschwindigkeit der Förderung abhängig sein. Unter Annahme einer konstanten Schüttgutedichte sowie des konstanten Volumens, welches das Fördermaterial auf der Rinne füllt.

Tatsächlich aber sind die Massen bei den unterschiedlichen Fördergeschwindigkeiten auf einem Schwingförderer ebenfalls unterschiedlich.

An einem gemäß Abbildung 2 aufgebauten Prüfstand (siehe auch Abb. 10) wurden durch Einstellen von verschiedenen Schwingungsleistungen unterschiedliche Fördergeschwindigkeiten des Fördermaterials (hier PE Granulat) erreicht. Nachdem die anfänglich leere Rinne des Förderers mit dem Material vollständig aufgefüllt war, wurde die Antriebsleistung sprunghaft um einen jeweils gleichen Betrag vergrößert oder verringert. Das Signal des Kraftsensors (Abb. 3) wies dabei jeweils eine Veränderung in seinem sonst konstanten Bereich auf.

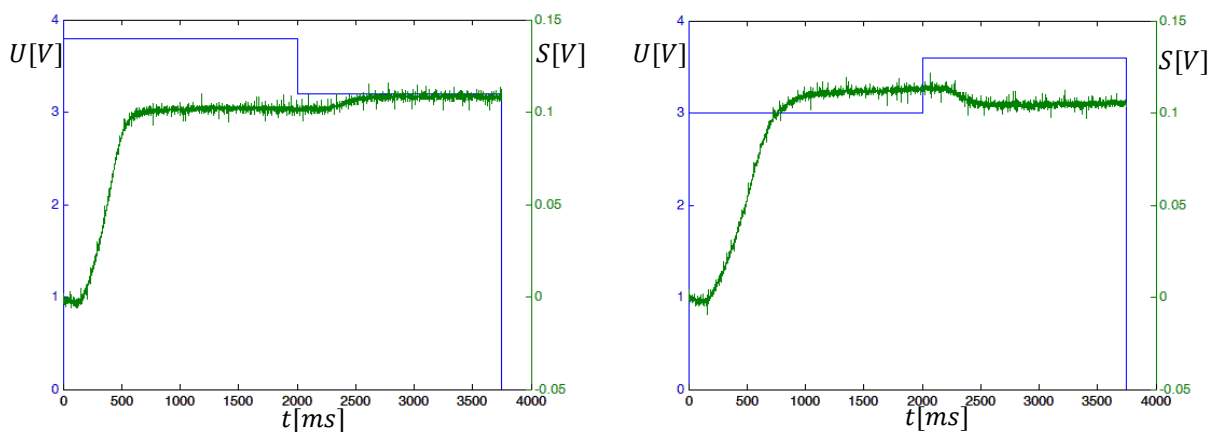


Abb. 3 Fördervorgang eines PE Granulates. Steuersignal des Schwingungsgebers des Förderers mit einem Sprung von 0,6 bzw. -0,6V (blau), Antwort des Kraftsensors mit einem Ab- bzw. - Aufstieg im konstanten Bereich (grün). Steuersignal zur Betriebsschwingung von: 3,8V (links), 3V (rechts).

Das Volumen des Materialstroms wird nicht nur durch die Länge und die Breite der Förderrinne sowie durch die Höhe der Mündung des Nachfüllbehälters über dem Boden der Rinne bestimmt, sondern hängt auch von seinem keilförmigen Profil ab. Die Form des Profils (das Gefälle des Profilkeils) zeigt sich stark von der Fördergeschwindigkeit abhängig (Abb. 4).

Bei der Erhöhung der Fördergeschwindigkeit bildet sich somit an der Mündung des Nachfüllbehälters eine Vertiefung im Förderstromprofil, dagegen ist bei einem Herabsetzen der Fördergeschwindigkeit dort eine Anhäufung des Materials (Abb. 5) zu beobachten.

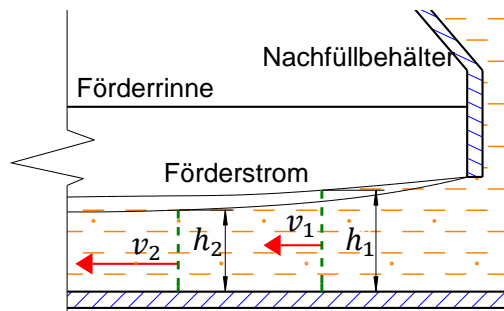


Abb. 4 Bildung von unterschiedlichen Gefällen des Strömungsprofils, somit von unterschiedlichen spezifischen Schichthöhen des Fördergutes über den Rinnenboden h_1 und h_2 aufgrund unterschiedlicher Fördergeschwindigkeiten, wobei $v_1 < v_2$.

Diese Formationen stellen lokale Volumen- bzw. Massenänderungen im konstanten Förderstrom dar, deren Bewegung entlang des Förderorgans die dargestellten Unstetigkeiten im Signal des wiegenden Kraftsensors (Abb. 3) erklärt.

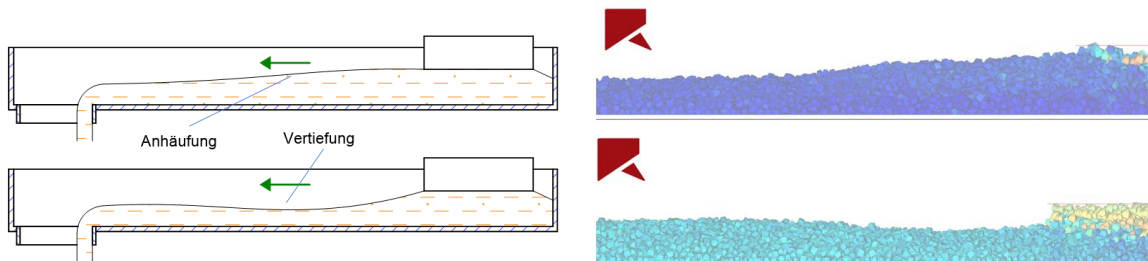


Abb. 5 Bildung von Volumenveränderungen im Strömungsprofil der zu fördernden Schüttgutmasse: einer Materialanhäufung wegen Reduzierung- (oben) sowie einer Vertiefung wegen Erhöhung der Fördergeschwindigkeit (unten). Erwartetes Profil (links), Profilformen in einem mit DEM-Software Rocky® simultan nachgebildeten Schüttguttransportvorgang (rechts).

Speziell an Resonanzvibrationsförderer treten bei den gleichen Vorgängen weitere Phänomene auf.

Bei den geringen Fördergeschwindigkeiten verzeichnet das System ein Verhalten wie oben beschrieben. Bei den höheren Fördergeschwindigkeiten wird dagegen eine genau umgekehrte Entwicklung beobachtet: während bei der Erhöhung der Fördergeschwindigkeit die Fördermasse (hier des PE-Granulates) auf der Rinne höher wird, wird sie bei dem Herabsetzen der Fördergeschwindigkeit sinken (Abb. 6).

Beispielsweise im Transport von PE-Granulat zeigt das Signal des wiegenden Sensors aufgrund eines einheitlichen Sprunges des Steuersignals von +/- 6% der max. Förderleistung, über dem gesamten Förderleistungsbereich der Anlage, den Übergang der Zustände im Förderleistungsbereich von ca. 38% (Abb. 8).

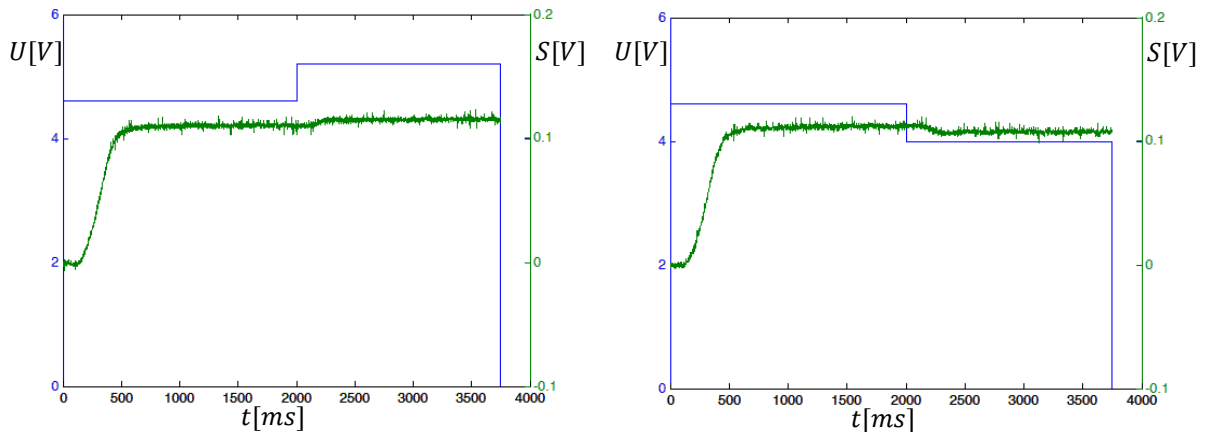


Abb. 6 Fördervorgang eines PE Granulats. Steuersignal des Schwingungsgebers des Förderers zur Anfangsbetriebsschwingung von 4,6V und mit einem Sprung von 0,6 bzw. -0,6V (blau), Antwort des Kraftsensors mit einem Ab- bzw. Aufstieg im konstanten Bereich (grün).

Eine mögliche Erklärung des Verhaltens eines Granulates infolge der Zu- bzw. Abfuhr der Energie bei höheren Fördergeschwindigkeiten lässt sich durch die Veränderung der Struktur der Materialströmung und Bildung von lokalen Schuttgutdichten- bzw. lokalen Massenunterschieden im Material finden.

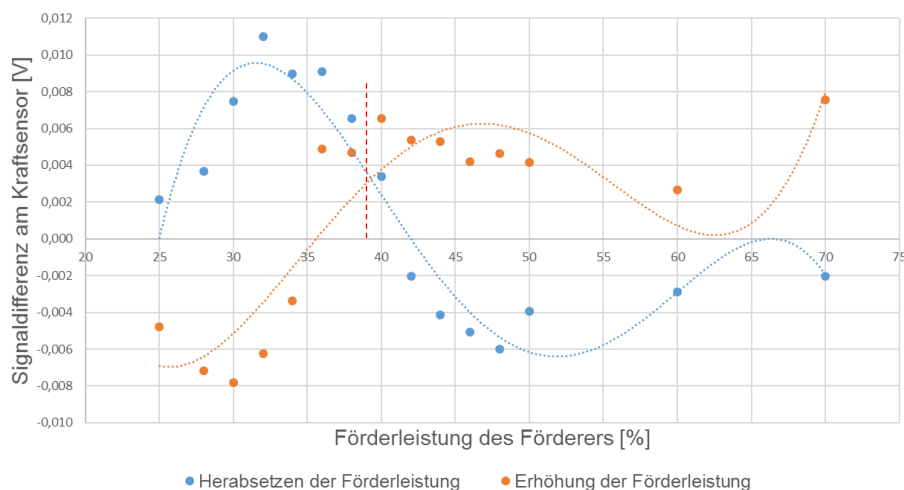


Abb. 8 Fördervorgang eines PE-Granulates. Verzeichnete Differenz im konstanten Bereich des Signals des wiegenden Sensors als Systemantwort auf sprunghaftes Erhöhen (orange) bzw. Herabsetzen (blau) der Förderleistung (hier um 6% der max. Förderleistung). Über die jeweilige Trendlinie sind die Verläufe qualitativ angedeutet. Übergangsgrenze von Zunahme/Abnahme der Rinnenladung (bei ca. 38% des Förderleistungsbereichs) ist mit roter gestrichelten Linie hervorgehoben.

Die Vibrationslinearförderer, die nicht in einem resonanznahen Bereich betrieben werden, haben meist eine frequenzgesteuerte Fördergeschwindigkeit, in den Resonanzvibrationsförderern wird die Fördergeschwindigkeit amplitudengesteuert.

Wird die mittlere Schwingungsleistung in einem Schwingperiodendurchgang T (eine einzelne Stoßbewegung (Abb. 9)) durch

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_{\hat{t}=0}^{\hat{t}=T} P(\hat{t}) d\hat{t} = f \int_0^T P(\hat{t}) d\hat{t} \quad 0.1$$

gegeben, mit f Förderschwingfrequenz und

$$P(\hat{t}) = \frac{dW}{d\hat{t}} = \frac{2s \cdot dF}{d\hat{t}} \quad 0.2$$

(Abb. 9), ist bei einem frequenzgesteuerten Vorgang $P \sim f(t)$ die von dem System pro Periode verrichtete Arbeit (dem System in einer Periode zugeführte Energie) $W = 2s \cdot F$ über der Gesamtprozessdauer von t nicht veränderlich.

$$\bar{P}(t) = f(t) \int_{w(0)}^{w(T)} dW = f(t) \cdot W \quad 0.3$$

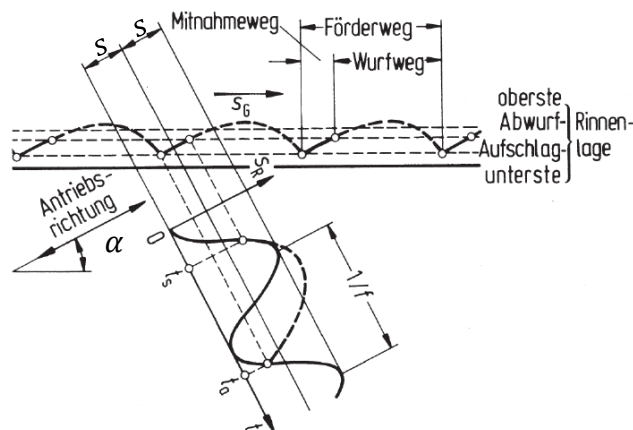


Abb. 9 die zur Beschreibung des Mikrowurfes relevanten Größen nach VDI 2333⁴. Mit S_R - Rinnenweg, s - Rinnenwegamplitude, f - Frequenz

Die Energie, die bei einem Vibrationslinearförderer dem beladenen Förderorgan in einer Periode zugeführt wird, soll zur Durchführung eines Mikrowurfes (Abb. 9) lediglich für die Trennung der Rinnenladung mit der Förderorganoberfläche ausreichend sein. Die Verbindungen aufgrund Partikelhaftkräfte bleiben dabei erhalten und das Fördergut verhält sich unter Wirkung der Vibration wie ein starrer Körper.

⁴ Quelle: VDI-Richtlinie Nr.: 2333 1965

Wird dabei dagegen von einem amplitudengesteuerten Vorgang $P \sim S_R(t)$ mit

$$\bar{P} = f \cdot S_R(t) \int_{F(0)}^{F(T)} dF = f \cdot S_R(t) \cdot F \quad 0.4$$

gesprochen, wird die dem System in einer Periode zugeführte Energie $W(t) = S_R(t) \cdot F$ über dem Gesamtprozess amplitudenabhängig.

Bei höheren Fördergeschwindigkeiten kann dem Schüttgut über eine hohe Schwingungsleistung also genug Energie zugeführt werden damit sich die interpartikulären Verbindungen im Material auf der Förderrinne trennen. Die Eigenschaften des Schüttgutes verändern sich dabei dermaßen, dass sich folgende Mechanismen vorstellen lassen: Durch den erhöhten Anteil der Hohlräume im Fördermaterial wächst Aufnahmekapazität des momentan auf der Rinne befindenden Materialvolumens, dabei wird die Fördergeschwindigkeit höher gesetzt und die Fördermasse erhöht sich durch die sich aus dem Bunker in den Fördervolumen eindringenden Partikel. Wird die Geschwindigkeit dagegen reduziert, behält der Materialstrom länger seine hohe Geschwindigkeit aufgrund der Massenträgheit und verringerter Innenreibung und die Masse des Materials auf der Rinne im Bereich des Nachfüllbehälters wird kleiner.

Die Nutzung der erläuterten Phänomene zur Erzeugung einer Massendiskontinuität in einem sonst konstanten Materialstrom, wurde auf einem speziell entwickelten und gebauten Prüfstand (Abb. 10 links) mit einer Steuer- und Auswerteeinheit auf Basis eines MATLAB® Quellcods verifiziert.

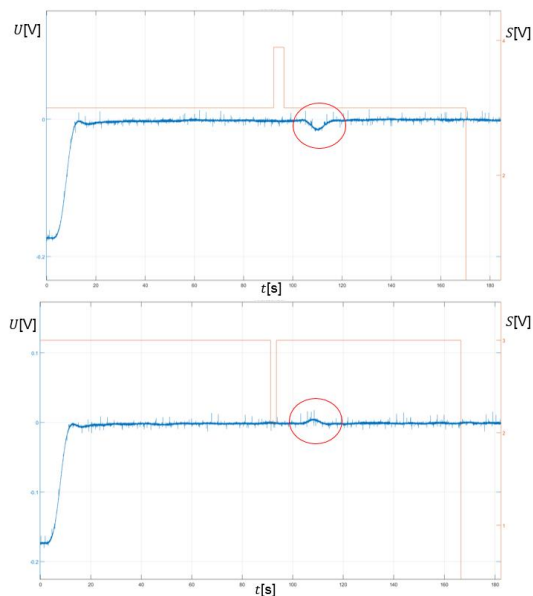
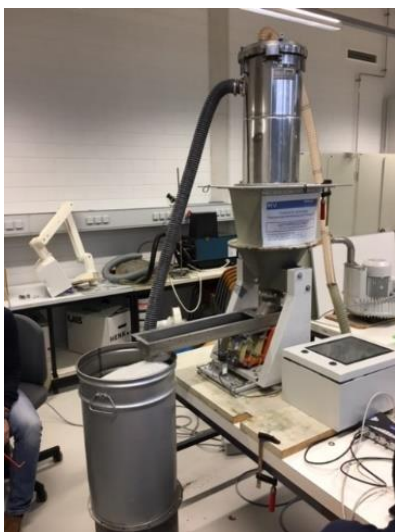


Abb. 10 Prüfstand zur messtechnischen Validierung des Messprinzips (links), Zeitsignal des wiegenden Sensors (blaue Kurve) sowie Veränderung der Fördergeschwindigkeit durch Sprung im Anregungssignal (orange Kurve) des Förderers (rechts).

Aufgrund einer hohen Wiederholbarkeit der Messergebnisse ist das Muster des Zeitsignals (Abb. 10 rechts) als charakteristisch zu bewerten. In Abhängigkeit von Steuerparameter des Förderers weist das Zeitsignal auf eine unterschiedliche Belastung des Förderstroms mit der Fehlermasse hin, die neben einer guten Auswertbarkeit des Signalverlaufs so geringgehalten werden muss, dass die Genauigkeitsanforderungen an Massenstrommessung nicht verletzt werden. Dies ist die Aufgabe der aktuell fortlaufenden Forschung.