

Low-cost Pipettierroboter auf Basis einer Portalfräse

Mike Hauschultz^{1*}; Maria Friedo¹; Hannes Jacobs¹; Mohammad Lafta¹; Andreas Engels¹ und Andreas H. Foitzik¹

¹ Technische Hochschule Wildau

* Korrespondenz: mike.hauschultz@th-wildau.de

Kurzfassung. Zur Herstellung von langfristig stabilen Metall-Kautschuk-Verbunden sind chemische Haftvermittler notwendig. Nach Auftrag dieser wird Kautschuk mittels Gummispritzgießen auf die metallischen Grundkörper aufgebracht. In Klein- und Kleinstserien kann der Haftvermittler in präzisen Volumina händisch mit Hilfe eines Fluid-Dispensers aufgetragen werden. Allerdings verhindert dies eine Homogenität und Gleichheit der Schichtdicke, wodurch die Zuverlässigkeit und Stärke der Haftung variieren können. Als technische Lösung wurde ein Pipettierroboter avisiert. Mit Hilfe mehrerer mechanischer und elektrischer Adaptionen – so auch einer neuen Steuerungstechnik – wurden verschiedene Fluid-Dispenser auf 3-Achs-Portalfräsen integriert. Somit konnte die volle Funktionsfähigkeit erreicht werden.

1. Einleitung

Feste Verbunde zwischen Kautschuk und Aluminium finden sich u.a. in der Automobilindustrie, bei der sowohl die Stabilität als auch Dichtheit im Vordergrund stehen. Zu diesem Zweck werden spezielle Haftvermittler verwendet, die derzeit für Kleinserien per Hand mittels Fluid-Dispenser auf die metallischen Grundkörper aufgetragen und anschließend getrocknet werden. Dadurch kann der aufgespritzte Gummi sich besser mit dem metallischen Grundkörper verbinden, um die u.U. sicherheitsrelevanten Bauteile ausfallsicher zusammenzuführen.

In einem Kooperationsprojekt mit der Firma „Motzener Gummi- und Kunststoffverarbeitung GmbH“ sollte zur Entlastung von Arbeitskräften und Prozessoptimierung ein Robotersystem entwickelt werden, mit dem ein automatisierter Auftrag von Haftvermittlern möglich ist. Dieser Prozess soll die nötige menschliche Zuarbeit reduzieren, wodurch Arbeitskräfte für andere Tätigkeiten freigestellt werden können. Solche Dosierroboter müssen auf den spezifischen Anwendungsfall angepasst werden. Diese Anpassung muss in Hardware und Software erfolgen, weshalb sich innerhalb dieses Projektes für eine Steuerung durch die Open Source-3D-Drucker-Firmware Marlin entschieden wurde.

2. Theoretischer Hintergrund

Im folgenden Abschnitt werden die für die Arbeit notwendigen theoretischen Grundlagen beschrieben. Dabei wird die Funktionsweise von Spritzenpumpen und Dosiergeräten erklärt.

2.1 Spritzenpumpen

Spritzenpumpen in der Medizintechnik werden in der Regel zur dauerhaften und genauen Dosierung von kleinen Medikamentenmengen verwendet. So kann das Risiko für den Patienten reduziert werden, indem die Konzentration im Blut auf einem Niveau bleibt. Die Wirkung von Medikamenten, die sich sonst zu schnell zersetzen würden, kann so sichergestellt werden [cf. 1: 452].

Spritzenpumpen werden für die gezielte und reproduzierbare Dosierung von Fluiden verwendet. Prinzipiell treibt dabei ein Schrittmotor eine oder mehrere Gewindestangen oder Spindeln an, um eine Plattform zu bewegen (Abbildung 1 a). Diese sorgt für einen Vorschub des Spritzenkolbens. Die Genauigkeit der Extrusion ist somit von folgenden Faktoren abhängig: Spritzenvolumen, Ganghöhe des Gewindes, Schrittweite des Motors und ggf. von einer Übersetzung [cf. 2].

2.2 Pneumatische Dosiergeräte

Den Spritzenpumpen gegenüber stehen pneumatische Dosiergeräte. Durch ein kurzzeitiges Anlegen von Druckluft wird ein Überdruck im Flüssigkeitsbehältnis erzeugt, infolgedessen der Druck durch die Abgabe von Flüssigkeit durch die Düse abgebaut wird. Da das hinzugeführte Luftvolumen nicht unbedingt dem gleichen Volumen entspricht, das an Flüssigkeit abgegeben werden soll, kann der Überdruck auch durch ein Ventil am oberen Ende abgelassen werden. Abhängig von der Größe der Düse kann auch mit einem Vakuum gearbeitet werden, um ein unerwünschtes, gravitatives Abtropfen von Flüssigkeit zu verhindern. Bei kleineren Düsendurchmessern ($\varnothing \approx 100 \mu\text{m}$) findet keine Tropfenbildung allein durch Gravitation statt [cf. 3].

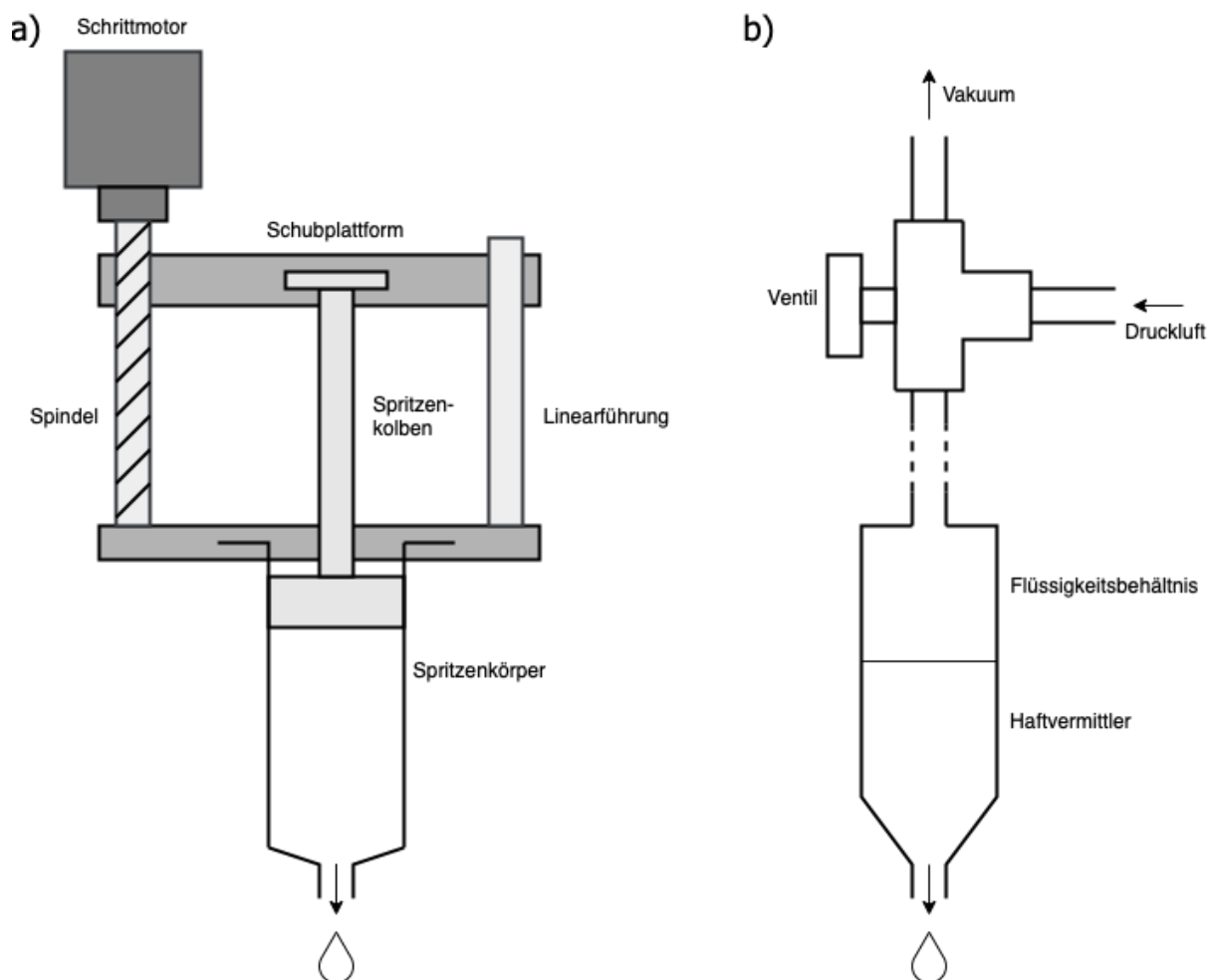


Abbildung 1: Extrusionssysteme: a) Spritzenpumpe, b) pneumatisches Dosiergerät (eigene Abbildungen)

3. Methoden

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche Methoden für den Aufbau und die Herstellung der vollen Funktionsfähigkeit nötig waren. Dabei wird zunächst auf das Design eingegangen, bevor die Validierung erläutert wird.

3.1 Design von Systemkomponenten mittels Computer-Aided Design (CAD)

Diverse Systemkomponenten wurden mit der CAD-Software SolidWorks konstruiert. Dazu zählen neben der Spritzenpumpe auch Halterungen für Extrusionssysteme, Displays und Proben. Die Maße wurden dabei von frei verfügbaren Konstruktionsskizzen oder mit Hilfe von Messschiebern bestimmt. Neben der Übersetzung der Spritzenpumpe war zu beachten, dass ausreichend Platz für die Proben vorhanden ist und sowohl Extruder als auch Proben fest fixiert werden können. Dadurch soll erreicht werden, dass immer eine reproduzierbare Prozessabfolge ermöglicht wird.

3.2 Validierung der Verfahrengenauigkeit

Eine wichtige Bedingung für eine reproduzierbare Benetzung von metallischen Grundkörpern ist u.a. die Verfahrengenauigkeit. Nur so kann sichergestellt werden, dass immer die exakt gleichen Punkte angefahren werden. Ein Parameter der Verfahrengenauigkeit besteht in der Genauigkeit des Homing-Prozesses. Es wurde sich dabei für die Option des „Sensorless Homing“ entschieden, die von der 3D-Druck-Firmware Marlin bereitgestellt wird. Dabei steigt durch das Anfahren einer Begrenzung der nötige Kraftaufwand für den Motor, wodurch die Stromaufnahme steigt. Dieses Signal wird detektiert. Um die Reproduzierbarkeit der Nullpunktbestimmung und der Fahrwege zu validieren, wurde 50-mal in Folge ein Homing-Prozess durchgeführt. Im Anschluss wurde jeweils in die Mitte der Grundfläche gefahren und mit einer am Extruder befestigten Kanüle (\varnothing 0,8 x 40 mm) in ein eingespanntes Blatt Papier gestochen.

3.3 Test des Gesamtsystems

Zum Test des Gesamtsystems wurde mit Hilfe eines Python-Scripts G-Code generiert (siehe Tagungsbeitrag von M. Friedo: „Steuerungstechnik für das Auftragen von fluiden Haftvermittlern“). Dieser sollte die metallischen Grundkörper an allen Positionen anfahren und dabei während einer Kreisbewegung mehrfach Flüssigkeit abgeben. Beim Anfahren der nächsten Reihe wurde die Flüssigkeit verstrichen.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die im Verlauf der Arbeit gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

4.1 Extrusionssysteme

Wie sich beim Testen zeigte, haben beide Extrusionssysteme Vor- und Nachteile in der Anwendung. Dadurch, dass die Spritzenpumpe mit einem Schrittmotor angetrieben wird, können Flüssigkeiten nicht nur präzise abgegeben sondern auch aufgenommen werden (Abbildung 2). Geringe Abweichungen von unter 0,5 μL sind durch die vergleichbar hohe Größe der durch Schwerkraft abgelösten Tropfen zu erklären ($3,750 \mu\text{L} \pm 0,054 \mu\text{L}$). Außerdem können auch Volumina im laufenden Programm verändert werden. Dies erlaubt nicht nur eine Benetzung von Grundkörpern sondern auch die praktische Durchführung einfacher Pipettivorgänge. Deshalb wurde außerdem eine Fixierung für ein Reaktionsgefäß-Rack gefertigt.

Das pneumatische Dosiergerät bietet den Vorteil einer schnelleren Extrusion und eines geringeren Gewichts an der beweglichen z-Achse. Dadurch sind schnellere Abläufe möglich, weshalb sich entschieden wurde diesen Extruder im Gesamtsystem zu untersuchen.

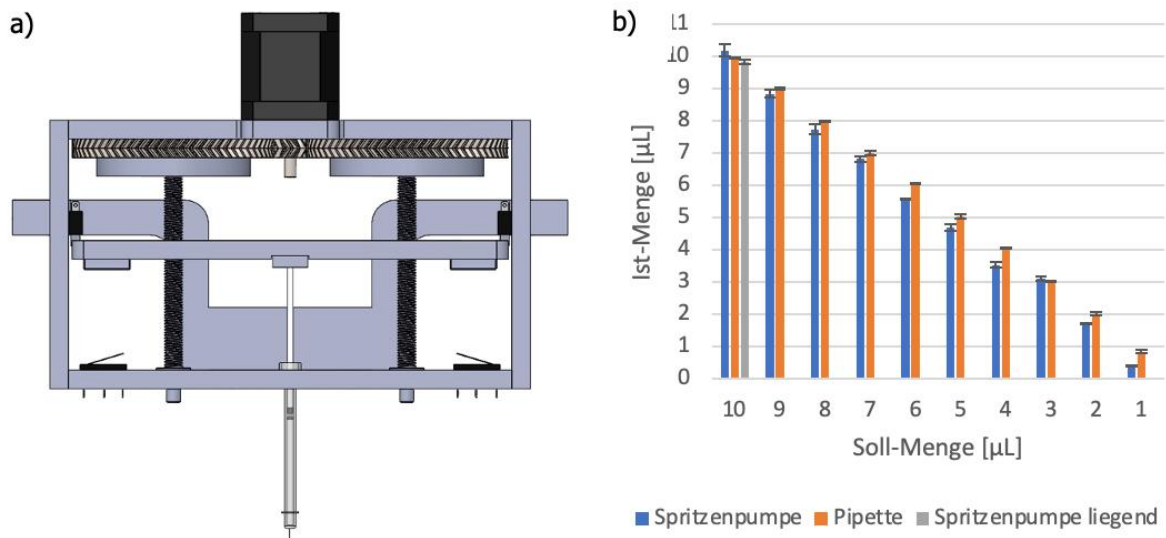


Abbildung 2: a) Spritzenpumpe in letzter Designrevision mit Übersetzung 11:65, 0.9° Schrittmotor und 300 µL Spritze; Spritze wechselbar (Abbildung erstellt mit SolidWorks), b) abgegebene Flüssigkeitsmenge im Vgl. zu Labor

4.2 Gesamtsystem

Für den erzielten Anwendungsfall der Benetzung von metallischen Grundkörpern bietet sich das System mit pneumatischem Dosiergerät eher an, da es schnellere Abläufe ermöglicht. Daher wurde dieses System weiter untersucht. Trotzdem wurden beide Systeme testweise umgesetzt (Abbildung 3). Bei der Validierung der Verfahrengenauigkeit wurde 50-mal in Folge in dieselbe Einstichstelle getroffen. Entsprechend wurde eine sehr hohe Verfah- und Homing-Reproduzierbarkeit erreicht. Im Test des Gesamtsystems konnte erfolgreich mit einem Python-Script G-Code erstellt werden, der im Anschluss für die Benetzung aller Teile bei einer kreisförmigen Bewegung verwendet werden konnte. Die Flüssigkeit auf der jeweils zurückliegenden Reihe wurde mit einer Verstreichvorrichtung erfolgreich verteilt.

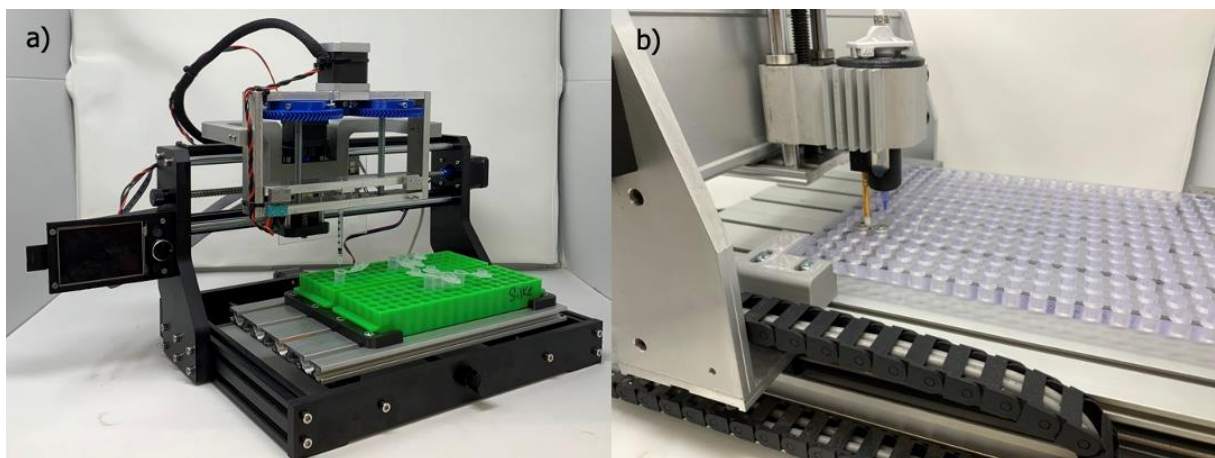


Abbildung 3: Gesamtsysteme, a) Aufbau mit Spritzenpumpe für die Durchführung einfacher Pipettierprotokolle, b) Aufbau mit pneumatischem Dosiergerät für Haftvermittlerbenetzung von Aluminium-Grundkörpern, mit zusätzlicher Verstreichvorrichtung für eine gleichmäßige Benetzung

5. Ausblick

In nachfolgenden Projekten könnte ein vom Spritzenpumpensystem abgeleiteter Aufbau entstehen. Dieses Konstrukt kann durch seine Übersetzung Proben mit unterschiedlichen Viskositäten abgeben. Entsprechend könnte ein solches System zum Auftrag von Wärmeleitpaste verwendet werden. Darüber hinaus sollte evaluiert werden, ob der Pipettierroboter mit Spritzenpumpe für die Abarbeitung einfacher Pipettierprotokolle geeignet ist.

Durch die geschaffene Grundlage einer gleichmäßigen Haftvermittlerbenetzung könnte in einem Folgeprojekt die daraus resultierende Qualität der Verbindung zwischen metallischem Grundkörper und aufgespritztem Gummi evaluiert werden. Dazu sollte die Abreißfestigkeit getestet werden.

Datenverfügbarkeit

Die Autor*innen bestätigen, dass die den Ergebnisse der Studie zugrunde liegenden Daten in diesem Artikel zur Verfügung stehen. Die Rohdaten wurden an der Technischen Hochschule Wildau erstellt. Abgeleitete Daten sind auf Anfrage beim Korrespondenz-Autor (M Hauschultz) verfügbar.

Interessenskonflikte

Die Autor*innen bestätigen, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literaturverzeichnis

1. Engeln, Christian et al. (2017): „Anästhesie-Arbeitsplatz“. In: Kramme, Rüdiger (eds.) (2017): Medizin-technik, Verfahren – Systeme – Informationsverarbeitung. Berlin, Springer Verlag: 445–465.
2. Chemyx Technical Support Team (15.04.2022): Syringe Pump Design. www.chemyx.com/support/knowledge-base/application-reference-by-topic/syringe-pump-design/ [03.05.2022]
3. Eslamian, Morteza/ Ashgriz, Nasser (2011): „Drop-on-Demand Drop Generators“ 3: 581-601. 10.1007/978-1-4419-7264-4_25.