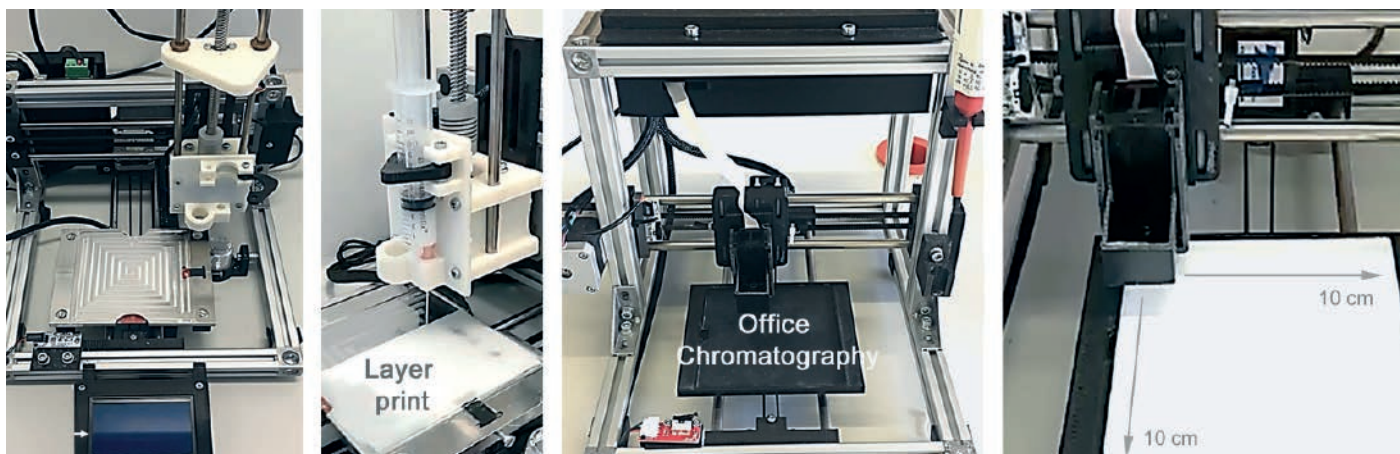




Analog zum Drucken auf Papier

Miniaturisierte automatisierte planare Chromatographie

Gertrud Morlock

Wenn man an Open-Source-Entwicklungen denkt, denkt man zuerst an Software (Open-Source-Software, OSS), aber es gibt einige Beispiele für Open-Source-Hardware (OSH). Solche Bausteine bzw. modularen Geräte ermöglichen es dem Forscher, neue Technologien schnell und kostengünstig zu entwickeln bzw. zu untersuchen. Zwar sind begrenzte Kenntnisse in Feinelektronik, Feinmechanik und Programmierung erforderlich, doch bleibt noch Raum, sich auf das Kerngebiet zu konzentrieren.

Open-Source-Lösungen, sowohl Hard- als auch Software, sind mit einer steilen Lernkurve verbunden. Während der Selbstmontage des in diesem Artikel beispielhaft beschriebenen All-in-One Open-Source Office-Chromatography-Systems, erlernt der Benutzer Fähigkeiten zur Fehlerbehebung und bekommt Ideen zur Modifizierung. Darüber hinaus gibt eine starke Gemeinschaft von Freiwilligen, die in verschiedenen Foren bei Fragen weiterhilft, den nötigen Halt.

Gerätearchitektur

Unabhängig vom speziellen Fachgebiet in der analytischen Chemie kann das Gerät, mit dem die Analyse durchgeführt wird, als ein Roboter betrachtet werden, der aus mehreren Teilen besteht:

1. mechanisches Gehäuse
2. Elektronik
3. Mikrocontroller
4. Firmware
5. Steuerungssoftware.

Das mechanische Gehäuse hält alles zusammen und trägt gegebenenfalls bewegliche Teile. Die Elektronik besteht aus Sensoren, beheizten Teilen, Ventilatoren, Pumpen und Motoren, die mit dem Mikrocontroller kommunizieren. Die Steuerungssoftware verwaltet die Analyse, indem sie Signale an den Mikrocontroller sendet und empfängt, die von der Firmware interpretiert werden.

3D-Drucker sind eine großartige Inspiration für analytische Chemiker, die mit dem Bau bzw. Design ihrer eigenen Geräte beginnen wollen. Denn die selbstreplizierbaren Geräte sind in der Lage, ihre eigenen Teile zu reproduzieren. Die Hauptfunktion eines 3D-Druckers besteht darin, schnell maßgeschneiderte Teile herzustellen, die in einen modifizierten Prototyp oder ein Laborgerät eingebaut werden können. Der Open-Source-Aspekt des hier beschriebenen 3D-Druckers macht ihn durch Modifizierung anpassbar. Der Mikrocontroller erlaubt bereits die Steuerung zahlreicher für die Analyse nützlicher Elektronik und wenn eine neue benötigt wird, kann diese problemlos neben den anderen bereits vorhandenen Funktionalitäten implementiert werden.

Signale für den 3D-Druck werden von der Steuerungssoftware an den Mikrocontroller gesendet (als G-code bezeichnet). Sie folgen einem bekannten Standard, der für den Einsatz von OSH in der analytischen Chemie gut geeignet ist, da die meisten der erwarteten Funktionen bereits implementiert sind. Für die Generierung der G-code-Dateien sind jedoch Kenntnisse einer Programmiersprache erforderlich. Eine Alternative ist die Arbeit mit Instrumentino [1], einem Open-Source-Modul in Python zur Steuerung von Arduino-basierten Geräten.

Zusätzlich zur Kommunikation mit dem Arduino ermöglicht diese Option auch die Kommunikation mit Drittanbieter-Geräten über Schnittstellen zur Anwendungsprogrammierung.

Office Chromatography

Das Potenzial von OSH, 3D-Druck und Inkjet-Druck wurde für die Planar-Chromatographie ausgelotet und erstmalig eingesetzt. Office Chromatography ist ein Konzept, das alle Einzelschritte der Planar-Chromatographie miniaturisiert, automatisiert und in einem einzigen Gerät vereint [2]. Der konventionelle 3D-Druck besteht in der additiven Applikation einer Materialschicht auf einer ebenen Fläche. An sich hat die Planar-Chromatographie ein solches ebenes, offenes Format, jedoch müssen Adsorbens-Suspensionen oder Chemikalienlösungen anstelle von sonst üblichen, meist polymeren Materialschichten aufgebracht werden. Die Herstellung von dünnen Kieselgel-Schichten für die planare Chromatographie mit einem modifizierten 3D-Drucker wurde bereits demonstriert [3]. Der 3D-Druck war in Bezug auf Investitions- und Betriebskosten sowie der Schichtherstellzeit vorteilhaft und eröffnete neue Perspektiven für Schichtmaterialien und -formen (Abb. 1).

Weitere Schritte, die in Office Chromatography automatisiert nacheinander in miniaturisierter Form durchgeführt werden, sind die Probenauftragung, Entwicklung und Derivatisierung. Diese Schritte können mittels Inkjet-Druck durchgeführt werden – analog zum Aufdrucken auf Papier. Erste apparative Lösungen konzentrierten

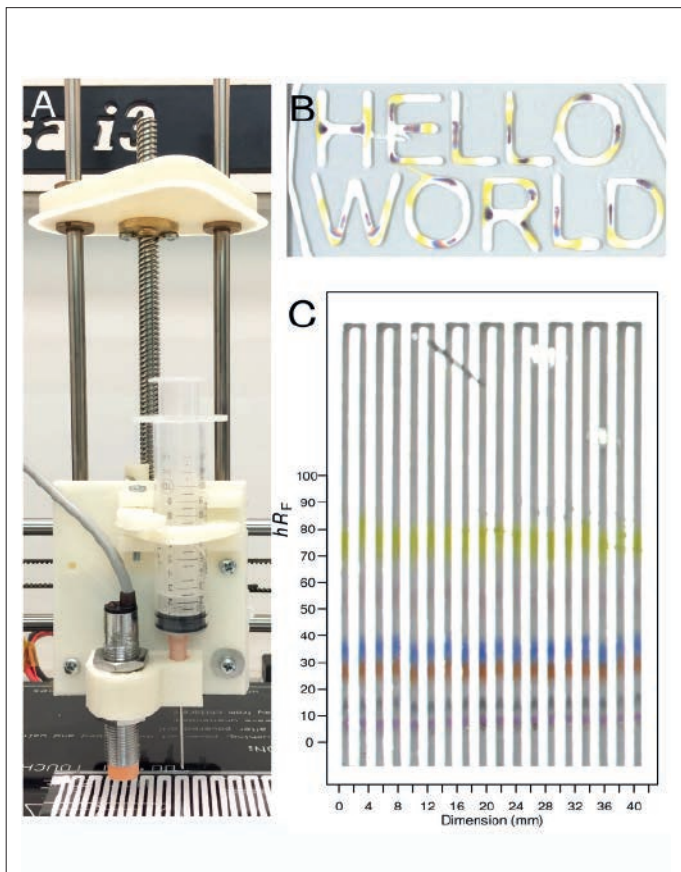


Abb. 1: (A) Modifizierter 3D-Drucker zum Druck der Adsorbensaufschlammung (Slurry) bzw. Herstellung der Trennschicht, (B) aufgedruckte Trennschicht „Hello world“, das die Vielseitigkeit möglicher Formen der Trennschicht aufzeigt, und (C) Chromatogramme einer lipophilen Farbstoffmischung auf einer Trennschicht aus 18 aufgedruckten Bahnen. Nachdruck mit Genehmigung von [3]. Copyright 2017 American Chemical Society.

sich auf modifizierte thermische Inkjet-Druckköpfe, wobei auch piezoelektrische Druckköpfe sehr gut geeignet sind. Für den Druck von Proben und Reagenzien im analytischen Labor wurden leere Tintenpatronen mit der aufzutragenden Lösung gefüllt [4, 5]. Der spätere Einsatz von Inkshield, einer von einem Arduino überwachten Open-Source-Platine, erlaubte die freie Verwendung der Inkjet-Technologie, ohne die ursprüngliche proprietäre Hardware. Die Integration in eine 3D-Druckerumgebung war bereits gegeben, und minimale Anpassungen des Firmware-Codes reichten aus, um die Open-Source-Platine für die analytische Chemie zu nutzen (Abb. 2). Die Doku-

mentation der miniaturisierten Trennergebnisse bzw. Chromatogramme wurde minimalistisch über LED-Beleuchtung und einer Raspberry Pi-Kamera gezeigt [3]. Als Beispiele wurden die Lösungen von Konservierungsmittel- und Pestizidgemischen mit diesem Office Chromatography-Gerät aufgetragen, getrennt und dokumentiert (Abb. 3).

Stand der Technik

Die Durchführung der miniaturisierten Schritte mit einer innovativen Technik, die für die Chromatographie bisher nicht angewandt wurde, wurde erfolgreich gezeigt. Eine minimalistische, maßgeschneiderte

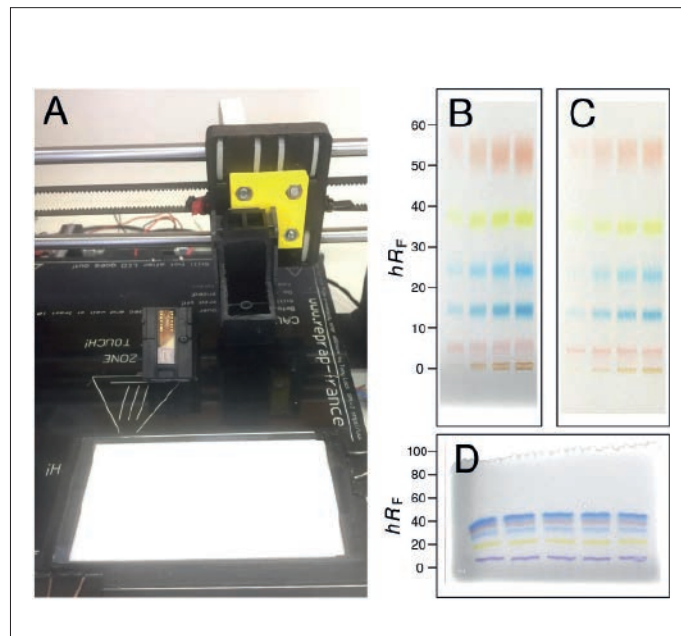


Abb. 2: (A) 3D-Drucker mit montierter Tintenstrahlpatrone und Plattenhalter für die (B) Trennung einer wasserlöslichen Farbstoffmischung auf der RP18-W-Phase nach Sprühauftragung (C) versus Inkjet-Druck; (D) nicht nur die Probenlösung, sondern auch das zur Trennung nötige Fließmittel wurden aufgedruckt. Nachdruck mit Genehmigung von [3]. Copyright 2017 American Chemical Society.

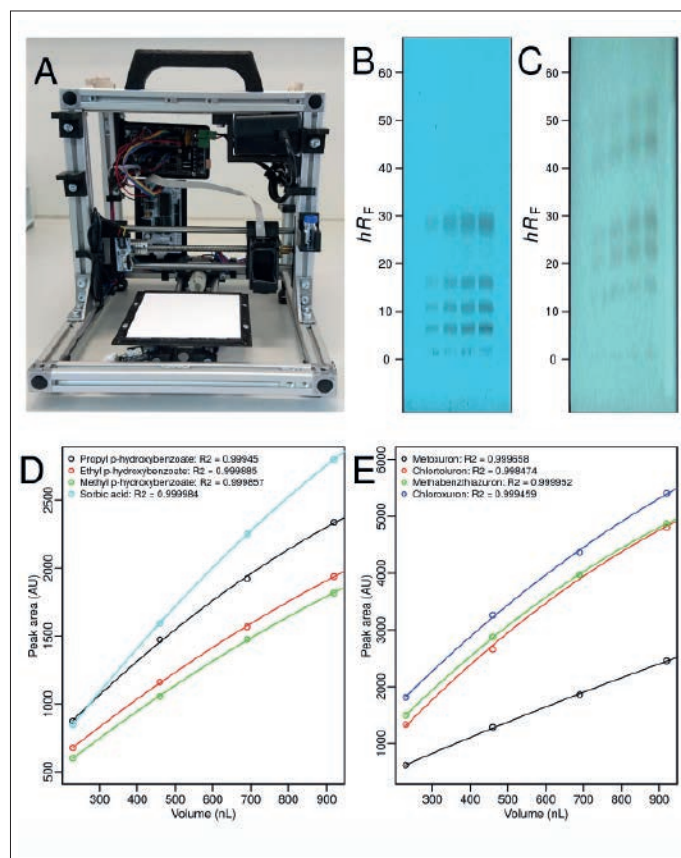


Abb. 3: (A) Analyse mittels Inkjet-Druck über das entwickelte Office Chromatography-Gerät: HPTLC-Chromatogramme und Kalibrierkurven für (B und D) Konservierungsmittel und (C und E) Pestizide.

OSH wurde mit Openscad entworfen und implementiert. Die meisten komplexen Geräteteile wurden in 3D gedruckt (Abb. 3A, schwarze Teile). Zudem wurde eine benutzerfreundliche OSS entwickelt, um G-code-Dateien zu erstellen und an den Drucker zu senden. Das resultierende Office Chromatography-Gerät ist erschwinglich (810 Euro), kompakt (26 cm x 31 cm x 26 cm), leicht (<3 kg) und wenige Mikroliter sind als Druckvolumen ausreichend (kontaktloses Drucken von ca. 100 pL-Tropfen). Das Design und die Anleitung zum Selbstbau des All-in-One Open-Source-Trennsystems sind frei zugänglich unter <https://github.com/OfficeChromatography>. Es

kann für die Weiterentwicklung und für Modifizierungen frei genutzt werden. Solche Open-Source-Entwicklungen in kleinen interdisziplinären Teams voranzubringen bereichert vielschichtig, durch die Entwicklung und Erprobung von neuen Konzepten und Materialien und letztlich durch die Umsetzung von eigenen Ideen. Morgens drucken, mittags eingebaut, nachmittags getestet, abends klüger – die Iterationszyklen und der Erkenntnisgewinn sind zügig aufeinanderfolgend. Eine Open-Source-Entwicklung lebt von Kreativität, Modifizierung, Wandel und Anpassung. Es erweitert das grundlegende Verständnis in der analytischen Chemie.

Chemiedidaktisches Projekt an Schulen?

Office Chromatography ist auch als chemiedidaktisches Projekt an Schulen geeignet, da es das Grundverständnis in der Analytischen Chemie mit Feinelektronik, Konstruktion, Feinmechanik, Informatik, Informationstechnologie sowie mit neuen Technologien wie 3D-Druck, Inkjet-Druck, Arduino, LEDs, künstliche Intelligenz zur digitalen Bildauswertung und miniaturisierte apparative Digitalisierung verbindet. Fasziniert von dem Open-Source-Gedanken mit Potential zu Citizen Science vermittelt das Do-It-Yourself fast spielerisch das grundle-

gende interdisziplinäre Verständnis in diesen Disziplinen. Open-Source-Entwicklungen ähneln Radikalkettenreaktionen – sie können exponentiell im Fortschritt und hoch dynamisch im Ergebnis sein. In vielerlei Hinsicht ist es spannend, an diesem Experiment mitzuwirken.

KONTAKT |

Prof. Dr. Gertrud Morlock
Lehrstuhl für Lebensmittelwissen-
schaften, Justus-Liebig-Universität
Gießen, Gießen, Deutschland
gertrud.morlock@uni-giessen.de