

# LabAutomation System

## Laborautomation für Lehre und Forschung nach Industriebild

Ute Ferlein<sup>1</sup>, Volker Hödl<sup>2</sup>, Klaus Kronberger<sup>3</sup>

### Zusammenfassung

Moderne Automatisierungstechnologien können das Laborpersonal von sich wiederholenden Aufgaben entlasten, sowie die Fehlerquote senken.

Der Bedarf an qualifiziertem Personal für die Entwicklung und/oder Wartung solcher Systeme ist entsprechend hoch. Labormitarbeiter benötigen ein Grundverständnis der Technologie und Automatisierungstechniker ein Grundverständnis der Laborprozesse.

Aus diesem Grund wurde das System LabAutomation entwickelt. Durch die Verwendung verschiedenster Komponenten aus dem Bereich der Laborautomation, der modernen Transport-, Robotik- und Sicherheitstechnik eignet sich das System für die Personalqualifizierung in unterschiedlichen Disziplinen. Nach entsprechender Softwareanpassung kann das System auch für Forschungszwecke eingesetzt werden.

Das erste automatisierte Verfahren ist ein Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA), an dem die Funktion aller Komponenten deutlich wird.

### Stichwörter

SmartLab, Laborautomatisierung, Kommunikationsprotokolle, Plate Reader, Liquidhandling, Pipetieren, Dosieren

## 1 Motivation

Forschung, Analytik und Diagnostik lassen den Bedarf an Automatisierung im Labor ständig steigen. Um diesen Bedarf abdecken zu können, sind auf diesem Gebiet ausgebildete Automatisierungstechniker dringend erforderlich. Die zunehmende Automatisierung verlangt jedoch auch von den Anwendern, den Labormitarbeitern, ein gewisses Verständnis für die eingesetzte Technik. Wie schon Konfuzius erkannte, hat praxisbezogenes Lernen und Ausbildung gegenüber reiner Theorie große Vorteile.

*“Was du mir sagst, das vergesse ich.  
Was du mir zeigst, daran erinnere ich mich.  
Was du mich tun lässt, das verstehe ich.”*

Konfuzius zugeschrieben

---

<sup>1</sup> Ute Ferlein, Engineering, Adiro Automatisierungstechnik GmbH

<sup>2</sup> Volker Hödl, Engineering, Adiro Automatisierungstechnik GmbH

<sup>3</sup> Klaus Kronberger, Geschäftsführer, Adiro Automatisierungstechnik GmbH

Diese Möglichkeit bietet das LabAutomation System. Am Beispiel eines ELISA ermöglicht es das System verschiedene Komponenten, deren Bezeichnung und Einsatzmöglichkeiten, kennenzulernen, sowie Einblicke in die SPS-Programmierung zu bekommen.

## 1.1 Laborautomatisierung ein Begriff – viele Vorstellungen

Betrachten wir den Begriff Laborautomatisierung zunächst aus Sicht von Automatisierungstechnikern. So sorgt dieser für einige Missverständnisse. Zumindest, wenn er nicht näher definiert wird.

Dabei liegt es weniger am Wort Automatisierung, sondern in erster Linie daran, was sich der Gegenüber unter dem Begriff Labor vorstellt.

Laut Duden versteht man darunter eine

*„Arbeitsstätte für naturwissenschaftliche, technische oder medizinische Arbeiten, Untersuchungen, Versuche o. Ä.“.*

Selbst wenn man diese umfangreiche Definition auf naturwissenschaftliche und medizinische Arbeiten begrenzt, sieht der eine vor seinem geistigen Auge beispielsweise ein

- Chemielabor, wie er es aus der Schule kennt,
- Forschungslabor für Life Sciences
- Diagnostiklabor mit Proben im Hochdurchsatz
- Labor mit selbstfahrenden Robotern

Die einzige Gemeinsamkeit ist vermutlich die Vorstellung von arbeitenden Menschen im weißen Kittel.

Und damit ist klar, dass auch an die Automatisierungstechnik, je nach Einsatzort und -zweck, total unterschiedliche Anforderungen gestellt werden.

Was stellt sich nun ein Naturwissenschaftler bzw. Labormitarbeiter unter Laborautomatisierung vor?

Diese Frage ist schwerer zu beantworten. Dieser Gruppe sind sicherlich die Unterschiede hinsichtlich den Laboren klar. Auch dass Automatisierungstechnik zuvor händisch ausgeführte Arbeiten übernimmt kann wohl jeder nachvollziehen. Doch welche Prozesse lassen sich sinnvoll automatisieren?

## 1.2 Laborautomatisierung in der Ausbildung

Außer gängigen Automatisierungskomponenten werden für die Automatisierung auch spezielle auf das Laborumfeld bezogene Komponenten benötigt. Fragestellungen in Bezug auf die Anlagenplanung, Automatisierung und der Softwareerstellung sind, beispielsweise:

- Worauf muss man achten, um keine Kreuzkontaminationen zu bekommen?
- Welche Komponenten setzt man am besten ein, um teure Reagenzien zu sparen?
- Was muss ich alles vorsehen/programmieren, wenn ich mit einer Pipette arbeite?
- Welche Schritte sind zeitkritisch?
- etc.

Für Labormitarbeiter sind Grundkenntnisse in der Automatisierung vorteilhaft, um (kleinere) Anpassungen selbst vornehmen oder sich im Fehlerfall helfen zu können. Auch um Prozesse im Hinblick auf die Automatisierbarkeit zu betrachten und zu definieren bedarf es eines Grundverständnisses der verfügbaren Komponenten und deren Grenzen.

- Wie weit macht Automatisierung Sinn?
- Wo ist menschliches Eingreifen oder Vorbereiten erforderlich?
- Welche Teilprozesse lassen sich mit Sensoren überwachen und wo bleibt weiterhin der Mensch verantwortlich?

### 1.2.1 Interdisziplinäre Zusammenarbeit – (k)ein Problem?

Für jede Zusammenarbeit ist Kommunikation erforderlich. Dabei entstehen Verständnis und leider auch viel zu oft Missverständnis.

Bei einer interdisziplinären Zusammenarbeit sind Missverständnisse vorprogrammiert, da die Menschen, hier Automatisierer und Naturwissenschaftler, verschiedene (Fach-)Sprachen sprechen siehe hierzu Bild 1.

Wie wachsen nun Technik und Naturwissenschaft zusammen?

- Durch Lernen der Sprache des anderen
- Aufbau eines fachspezifischen Grundwortschatzes
- „Gefühl“ entwickeln für die Materie des anderen



Bild 1: "Verstehste" [1]- mit freundlicher Genehmigung von Alwin T. Müller

## 2 Die Anlage im Überblick



Bild 2: LabAutomation System mit den Modulen 1...4 (von links nach rechts)

Die Anlage besteht aus vier Modulen (Stationen) wie in Bild 2 dargestellt. Jedes Modul stellt bestimmte Funktionen (Dienste, Services) zur Verfügung und besitzt eine separate Steuerung.

In der nachfolgenden Kurzbeschreibung der Module ist die prinzipielle Funktion in Fettschrift dargestellt. Der zusätzliche Text bezieht sich auf den konkreten Anwendungsfall eines ELISA. Ergänzend gibt Bild 3 einen schematischen Überblick.

## Modul 1, Sample Accessioning

Modul 1 bietet alle für das Probenmanagement erforderlichen Funktionen wie:

- **Transport** der Proben nach der Anlieferung durch Mensch oder fahrerloses Transportsystem (Robotino®)
- **Identifizierung** mit Hilfe eines Barcode-Scanners
- **Öffnen und Wiederverschließen** der Probengefäße
- **Übergabe (Umsetzen)** der Proben an ein zweites Rack und anschließend zum nächsten Modul

## Modul 2, Sample Aliquoting

Die Station bietet alle Funktionen für den Transfer der Proben aus den Röhren in die Mikrotiterplatte.

- **Bestücken der Micro Well Plate (MWP)** mit den erforderlichen Streifen. Dies geschieht mit einem kollaborativen Roboter.
- **Pipettieren** aller benötigten Lösungen, z.B.
  - Leerwert
  - Positiv- und Negativkontrolle
  - Standardlösungen
  - Proben usw.
- **Transport** der Proben und Platten durch ein Transportsystem basierend auf Linearmotoren (Multi Carrier System MCS®) und Förderband.

## Modul 3, Multi Pipetting and Washing

In dieser Station werden alle Schritte durchgeführt, die ein mehrfaches Pipettieren oder Dispensieren ermöglichen.

- **4-fach Pipettieren.** Im Falle von ELISA
  - Konjugat
  - Substrat
  - Stopplösung
- **Dispensieren** durch 8-fachen Dosierkopf
- **Aspirieren (Absaugen)** durch 8-fach Saugkopf
- **Transport** der Platten mittels MCS® und Förderband
- **Reinigung** der 8-fach-Dosier- und Saugköpfe

## Modul 4, Incubating and Reading

Alle Be- und Entladeschritte, sowie Ablage der **Micro Well Plate** werden mit einem kollaborativen SCARA-Roboter durchgeführt.

- **Be- und Entladen** des Inkubators
- **Be- und Entladen** des **Microwell Plate**-Lesegeräts
- **Ablage** der benutzten Platten auf dem Lagerplatz
- **Transport** der Platten über ein Förderband
- Konfiguration des Micro Well Plate-Lesegeräts und Datenanalyse mit PC-basierter Software

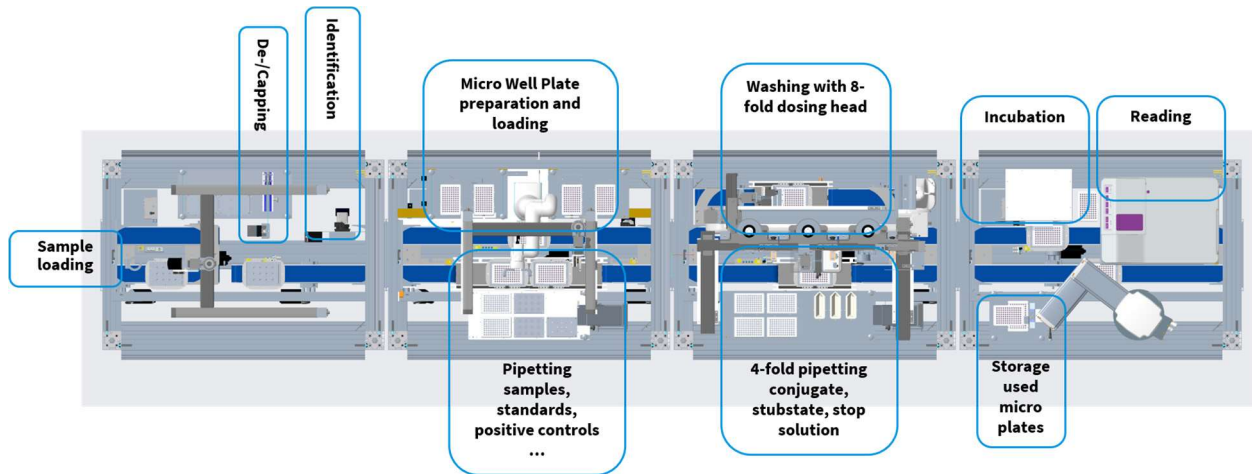


Bild 3: Schematische Darstellung der Module und deren Funktionen

### 3 Idee zur Anlage

Als grundlegende Idee der Anlage dient ein Laborprozess wie er in Bild 4 vereinfacht dargestellt ist.

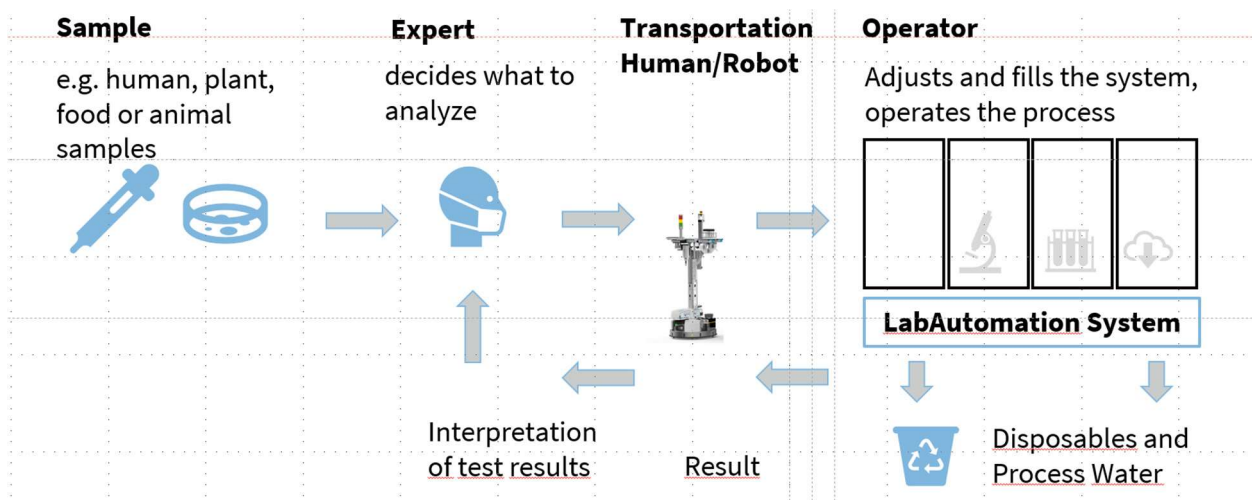


Bild 4: Prinzipielle Darstellung eines Laborprozesses mit Einbindung des LabAutomation Systems. Die Proben kommen ins Labor, der Experte entscheidet, welche Analyse durchgeführt werden soll. Die Proben werden zur Anlage transportiert, die von einem Labormitarbeiter mit den erforderlichen Reagenzien und Hilfsmittel bestückt und bedient wird.

#### 3.1 Mechanische und steuerungstechnische Umsetzung

Im LabAutomation System sind vorwiegend Standardkomponenten aus Industrie und Laborautomatisierung verbaut.

Das industriell orientierte Steuerungskonzept ist CODESYS basierend. Jedes Modul (Station) enthält eine eigene SPS für die Ablaufsteuerung, sodass ein autarker Betrieb möglich ist. Die Sicherheitstechnik, z.B. für die Türzuhaltung ist mit einer separaten Safety Steuerung ausgeführt. Diese Trennung bietet die Sicherheit, dass bei der Ablaufprogrammierung nicht auch versehentlich die Sicherheitstechnik verändert wird. Hinzu kommt, dass sich zwei getrennte Nutzungsszenarien ergeben und somit auch eine Verdoppelung der Arbeitsgruppen, die zeitgleich ohne sich zu stören an Aufgabenstellungen programmieren können.

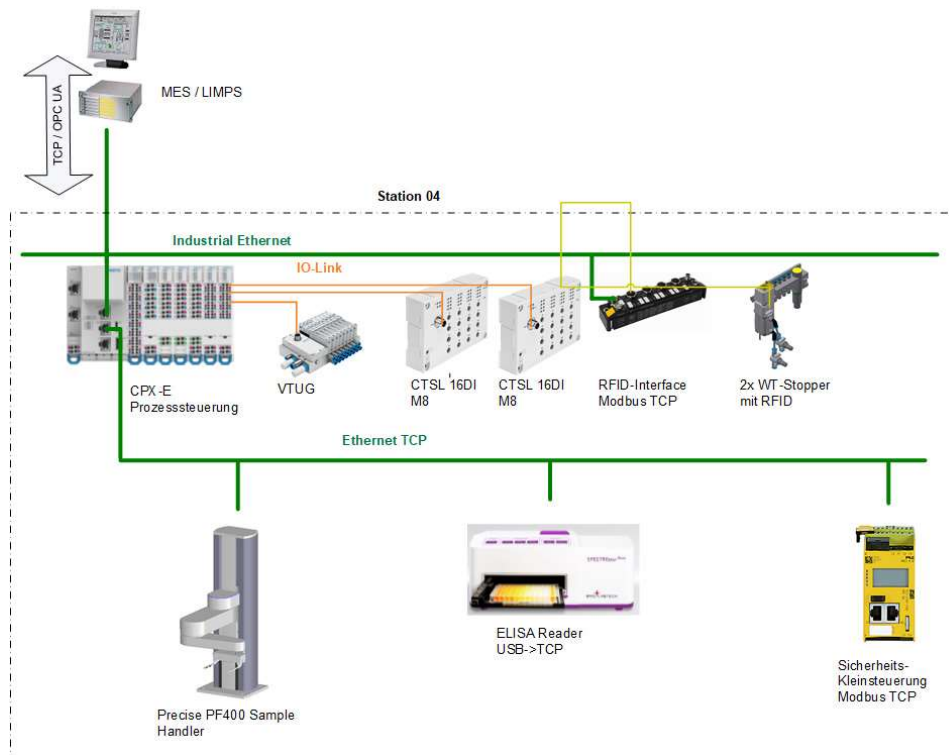


Bild 5: Steuerungskonzept am Beispiel von Modul 4. Außer TCP/IP, IO-Link wird in der Anlage auch Profinet, Ethercat und Node-RED verwendet.

## 4 Aspekt Labor- und Raumplanung

### Empfehlung für eine zukunftssichere Laborraumplanung mit Blick auf reale Labor(geschäfts)prozesse, deshalb konkretes Beispiel ELISA Vitamin B12

Um ein smartes Labor für Lehre und Forschung optimal nutzbar zu machen empfiehlt sich eine möglichst flexibel und veränderbare Gestaltung der Laboreinrichtungen und die Logistik für Hilfsstoffe wie Reagenzien, Disposables und Abfälle.

In die Zukunft gerichtete Themen sollen in Einklang gebracht werden. Z.B. ist die Planung von Fahrwegen eines autonomen, mobilen Laborroboters anders zu dimensionieren, wie die Gehwege für das Laborpersonal. Wenn es der Platz zulässt, kann es sinnvoll sein, dass die Fahrwege von den Gehwegen getrennt sind um Kollisionen zu vermeiden. Hier kann von der industriellen Logistik und Fabrikgestaltung vieles übertragen werden.

Außerdem müssen z.B. die PC-Arbeitsplätze didaktisch und auf die Forschung ausgerichtet geplant werden. Da jedes Modul (Station) eine eigene frei programmierbare Steuerung (SPS) hat empfiehlt es sich, mindestens einen Programmierplatz pro Modul einzuplanen.

Die Modularität der Anlage ermöglicht es, ein Modul aus dem Anlagenverbund herauszulösen. Die Module sind autonom funktionsfähig und können als Einzelplatz mit reduzierter Komplexität genutzt werden. Die Resultate der einzelnen Arbeitsgruppen anschließend wieder zu einer Anlage zusammen zu führen stellt eine wichtige Dimension dar. Allein der Frage nachzugehen, "wer ist schuld, warum der Anlagenverbund nicht funktioniert?" bringt wichtige technische aber auch soziale Erkenntnisse.

## 5 Fazit und Ausblick– Laboratory-X [2]

Das LabAutomation System bietet eine praxisnahe Versuchsplattform um industrielle Automatisierungslösungen mit Laborautomatisierung zu vereinigen und deren Unterschiede herauszuarbeiten. Die gemeinsame Sicht der Laboranwender und der Gerätehersteller ist als großer Mehrwert auf dem Weg zu Interoperabilitätsstandards zu sehen.

Ähnlich wie in der Fertigungsindustrie das Manufacturing Executing System (MES), ist die Ausarbeitung eines übergreifenden Laboratory Execution System (LES) eine große Herausforderung. Die Anlage und die entsprechende Umgebung kann als Testumgebung zur Entwicklung und zum Verständnis aufbau einen wichtigen Beitrag leisten. Ansätze, in welchen Kategorien sich offene Themenstellungen finden lassen, sind:

- Modularisierung mit dem Ziel aus dem Baukasten zu leben, z.B. Lösungsansätze in Richtung MTP (Modular Type Packaging)
- Connectivity mit dem Ziel vertikale und horizontale Informationsflüsse zu Informationsmodellen zusammen zu führen, eine Spielwiese z.B. für SILA; OPC-UA LADS, KI-Ansätze?
- Digitalisierung mit dem Ziel der Automatisierung von Geschäftsprozessen gemäß der Initiative Manufacturing-X hin zu Laboratory-X?

Eine Sache ist klar, die Anwendung und Weiterentwicklung des LabAutomation Systems geht nur mit dem Willen zu einer fachübergreifenden Zusammenarbeit.

## 6 Abkürzungen

ELISA	Enzyme-linked Immunosorbent Assay
KI	Künstliche Intelligenz
LES	Laboratory Execution System
MCS®	Multicarriersystem
MES	Manufacturing Executing System
MTP	Modular Type Packaging
MWP	Micro Well Plate
SILA	Laborautomatisierung Standard, <a href="https://sila-standard.com/standards/">https://sila-standard.com/standards/</a>
OPC-UA LADS	Open Platform Communications Unified Architecture Laboratory and Analytical Device Standard <a href="https://opcfoundation.org/markets-collaboration/lads/">https://opcfoundation.org/markets-collaboration/lads/</a>

## 7 Quellen

- [1] Alwin T. Müller, <http://www.blog.mopf.net/tag/verstandnis/>, abgerufen am 11.01.2024,  
[2] Dr.-Ing. Thomas Tauchnitz, Atp weekly vom 11.01.2024