

## **Virtuelle Sensor-Fertigung: Hightech mit LabVIEW**

<sup>1)</sup>Sabine Merten, <sup>1)</sup>Klaus-Peter Kämper, <sup>2)</sup>Manfred Brill, <sup>2)</sup>Antoni Picard, <sup>2)</sup>Detlev Cassel, <sup>2)</sup>Andreas Jentsch, <sup>2)</sup>Markus Rollwa

<sup>1)</sup>Fachhochschule Aachen, Goethestr. 1, 52064 Aachen, Deutschland

<sup>2)</sup> Fachhochschule Kaiserslautern/ Standort Zweibrücken, Amerikastr. 1, 66482 Zweibrücken, Deutschland

### **Abstract**

A new generation of university laboratory courses is presently being developed. Modern concepts for the understanding and learning of applied science and industrial fabrication processes are required. The technology course "Fabrication of a microsensor", developed by the Universities of Applied Sciences Aachen and Zweibrücken in the joint research project INGMEDIA, represents a new approach towards education in high technology production. The students learn the operation of the complex microfabrication line with the help of virtual fabrication machines, programmed in LabVIEW, before they perform the actual process in a genuine clean room.

### **Kurzfassung**

Eine neue Generation von Praktika an Hochschulen wächst heran. Moderne Wege beim Verstehen und Erlernen naturwissenschaftlicher Zusammenhänge sowie industrieller Fertigungsprozesse sind gefordert. Das Technologiepraktikum „Virtuelle Sensor-Fertigung“, entwickelt im Verbundprojekt INGMEDIA an den Fachhochschulen Aachen und Zweibrücken, trägt als neuartiges Lern- und Lehrmodul dieser Forderung Rechnung. Die Studierenden lernen einen vollständigen Fertigungsprozess mit Hilfe von virtuellen, in LabVIEW programmierten Maschinen kennen, bevor sie die reale Prozesskette im Reinraum durchführen.

### **Einführung**

Der sichere Umgang mit Fertigungsanlagen gehört häufig zum späteren Berufsalltag der angehenden Ingenieur(I)nnen. Erste Erfahrungen mit solchen Maschinen sammeln die Studierenden bei ihren Hochschul- oder Industriepraktika. Das Lernen an und Üben mit den technischen Anlagen ist sehr zeit- und kostenintensiv. Um die Studierenden möglichst effektiv an realen Maschinen innerhalb eines Praktikums auszubilden, wird ein Technologiepraktikum im Bereich der Mikrosystemtechnik neu konzipiert. Hier wird die Bedienung einer realen Maschine zunächst an einer virtuellen erlernt. Ziel ist dabei, den Studierenden die Möglichkeit zu geben, über das Arbeiten mit simulierten Anlagen die realen Maschinen kennen zu lernen. Dadurch kann im realen Praktikum im Reinraum intensiver und effektiver mit den einzelnen Maschinen gearbeitet werden. Für jede im Praktikum eingesetzte und in eine Simulation umgesetzte Fertigungsanlage ist die Entwicklung einer realitätsnahen Bedienoberfläche erforderlich. Insbesondere die Abbildung rechnergesteuerter Maschinen kann sehr gut in der Programmierumgebung

LabVIEW verwirklicht werden. LabVIEW bietet hervorragende Möglichkeiten für die zu lösenden Aufgabenstellungen. Rechnergestützte Bedienoberflächen werden realitätsnah, manuelle Bedienungen anschaulich visualisiert. Die komplexe Logik einer Maschinensteuerung wird realistisch abgebildet. Physikalische Zusammenhänge wie z.B. Maschinenkennlinien werden durch ihre Abbildung in Simulationen den Studierenden auf einfache Weise näher gebracht.

### **Fertigung Drucksensor – eine virtuelle Prozesskette entsteht**

Im Rahmen des Technologiepraktikums werden alle realen, zur Prozesskette „Drucksensor“ gehörenden Maschinen virtuell abgebildet. Die Prozesskette umfasst mehrere Hauptprozessschritte mit fast 100 Teilschritten und ca. 20 unterschiedlichen Maschinen. Jeder einzelne Prozessschritt baut auf den vorherigen Teilschritten auf, so dass neben einer realitätsnahen Maschinenabbildung auch eine Datenverwaltung berücksichtigt werden muss. Zu den im Prozess eingesetzten Anlagen gehören beispielsweise Hochtemperaturofen, Mask Aligner, Sputter Coater und das Messgerät FTP 500 (= Film Thickness Probe). Die Maschine Hochtemperaturofen wird nachfolgend näher beschrieben.

### **Reale Anlage: Hochtemperaturofen**



*Abb. 1: Maschine „Hochtemperaturofen“ mit Prozessrechner*

Beim Hochtemperaturofen (s. Abb. 1) handelt es sich um eine Maschine, mit der z.B. Oxidschichten erzeugt werden. Sie wird vollständig mit einem Prozessrechner gesteuert, wobei die Bediener über verschiedene Fenster Zugriff auf die gesamte Ofensteuerung

haben. Temperaturen, Zeiten, Gasflussmengen etc. können eingestellt sowie die einzelnen Ofenrohre mechanisch angefahren werden. Die Oberfläche des Prozessrechners und die Logik der Ofensteuerung sind hervorragend für eine Umsetzung in LabVIEW geeignet.

### Virtuelle Maschine: Hochtemperaturofen

Der Schwerpunkt bei der Umsetzung des Hochtemperaturofens lag auf einer realitätsnahen Visualisierung der Maschinenoberfläche mit der zugehörigen komplexen Anlagenbedienung. Ziel war hier, die Datenverarbeitung und Komplexität des darzustellenden Prozesses einfach und gleichzeitig realistisch abzubilden. Die umgesetzte Maschine kann von den Studierenden als separates Simulationsmodul erprobt werden. Vereinfachungen wurden im Bereich der manuellen Bedienung und in der Auswahl der zu variierenden Prozessparameter vorgenommen. So erfolgt z.B. das Einschalten von Prozessgasen (wie Sauerstoff, Druckluft) in einem gesonderten Fenster durch das Betätigen entsprechender Buttons. In der Realität müssen die Studierenden einige Handgriffe mehr vornehmen und den Gasfluss von Zeit zu Zeit optisch überprüfen. Das Hauptlernziel für diese Anlage besteht darin, die Studierenden dahingehend zu schulen, dass sie durch gezieltes Einstellen von Prozessparametern wie Temperatur, Zeit etc. ein möglichst vorhersehbares Ergebnis (z.B. eine Oxidationsschicht mit bestimmter Dicke) erzeugen können. Daher ist eine stärkere Abstraktion im Bereich der manuellen Bedienung durchaus vertretbar.

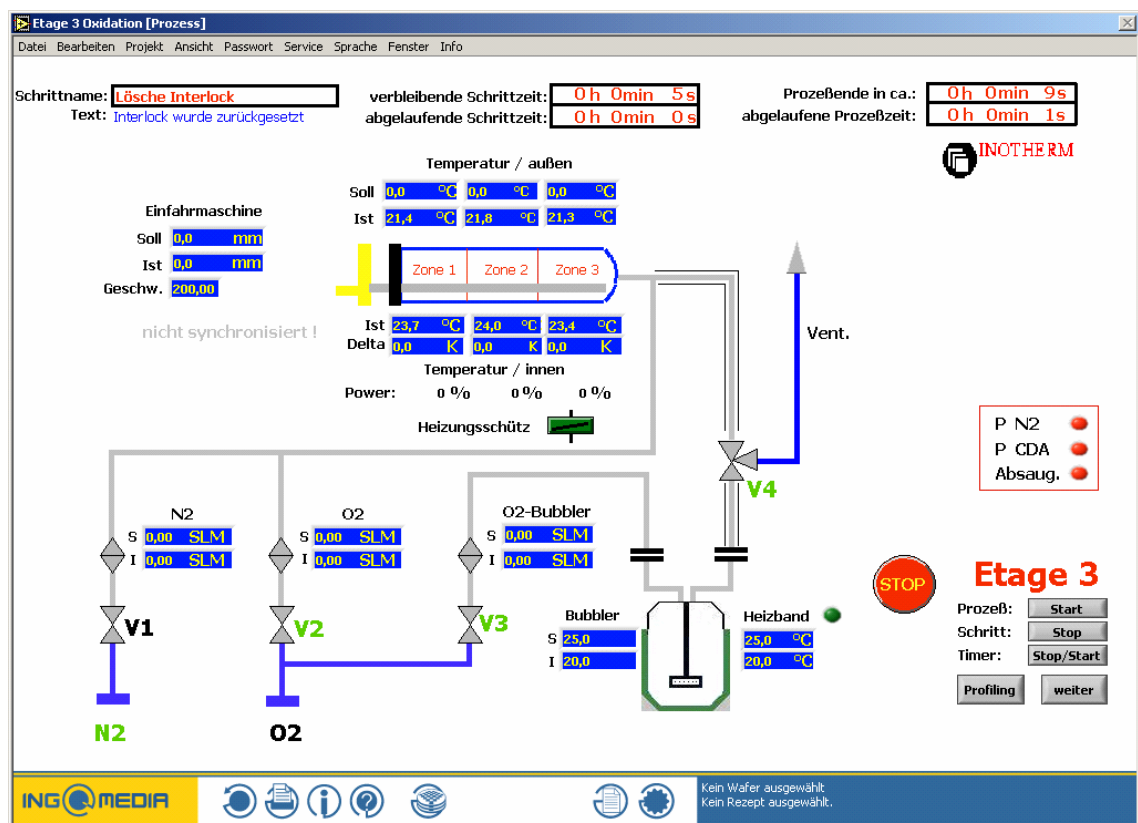


Abb. 2: „Hochtemperaturofen“ – Fenster Prozessansicht, in LabVIEW umgesetzt

Das Hauptfenster des Prozessrechners (Fenster Prozessansicht) ist in Abb. 2 zu sehen. Die Eingabe von Prozesswerten erfolgt in einem weiteren Fenster in einer Rezepttabelle (s. Abb. 6). Die Prozesswerte wurden auf ca. 15 verschiedene beschränkt. Von Studierenden falsch vorgenommene Einstellungen werden mit Hilfe der realen

Ofenkennndaten überprüft. Ein simulierter Prozess lässt sich nur dann durchführen, wenn alle Eingaben innerhalb der Grenzwerte korrekt sind und weitere Einstellungen wie an der realen Maschine richtig vorgenommen wurden. Nach Start der Simulation fährt der Hochtemperaturofen über eine Kennlinie auf die eingestellte Temperatur. Die weitere Ofensteuerung erfolgt mit den aus der Rezepttabelle eingetragenen Werten. Da ein Beschichtungsprozess in der Realität 24 Stunden dauern kann, wird den Studierenden bei laufender Simulation die Möglichkeit gegeben, eine Art Zeitraffung in Form einer analogen, nach oben offenen Beschleunigungseingabe vorzunehmen. Das Ergebnis der Simulation – eine Schichtdicke - wird mit Hilfe von hinterlegten Messtabellen über in LabVIEW angebotene Interpolationsfunktionen berechnet und den Studierenden in einem weiteren Programm angezeigt.

Einige in die Simulation zu integrierende Teilfunktionen sind:

Erstellung einer Navigationsleiste; Erstellung relativer Pfade; Erstellung einer neuen Menüzeile; Erstellung einer Rezepttabelle, über die das Hauptprogramm im Wesentlichen gesteuert wird; Erstellung von Unterprogrammen zur Steuerung von Prozesszeiten, Prozessschritten, Aufheiz- und Abkühlkurven (Ofenkennlinie); Erzeugung einer Beschleunigungsfunktion; Erstellung einer Fehlertabelle ; Einsatz von Interpolationen für simulierte Schichtdicken.

Beispiellösung: Erstellung einer Navigationsleiste



Abb. 3: VI-Frontpanel zur Beispiellösung „Navigationsleiste“

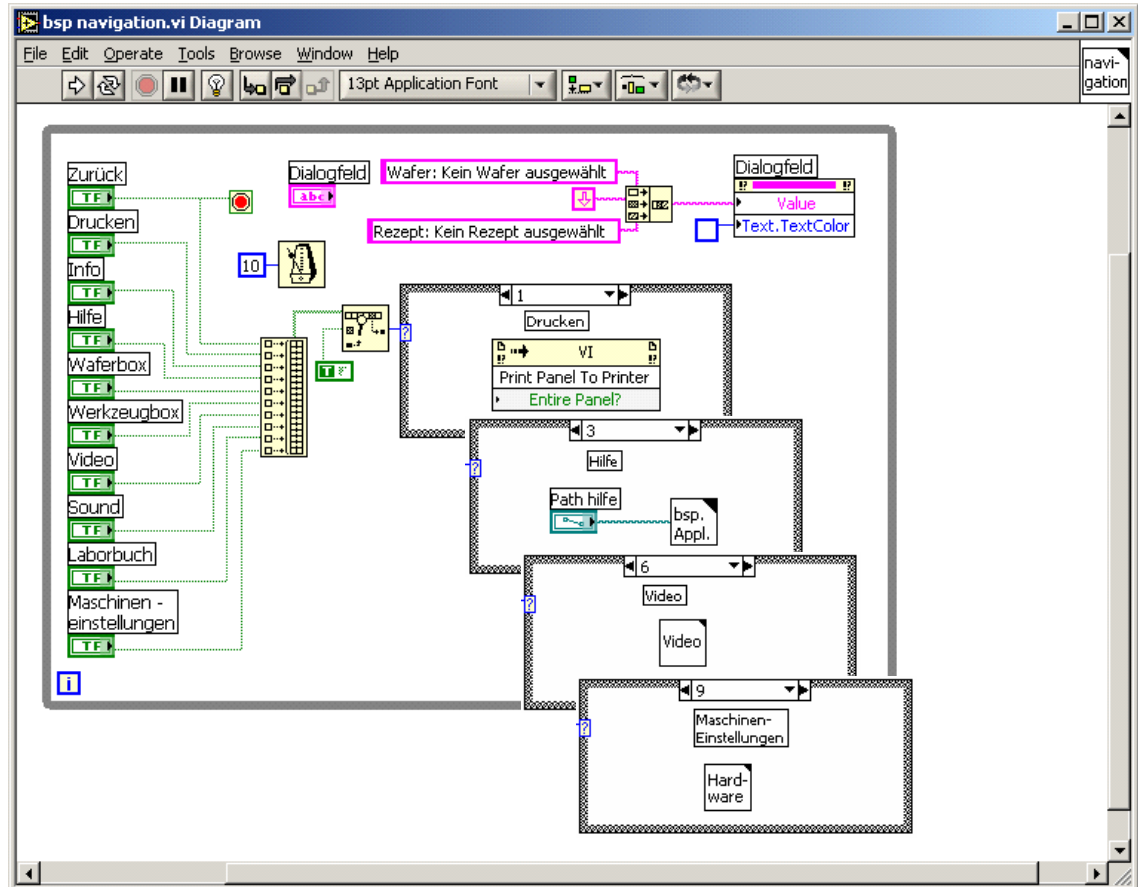


Abb. 4: VI-Diagramm zur Beispiellösung „Navigationsleiste“

Diagrammerläuterung:

Von den 10 möglichen Menüpunkten sind 4 abgebildet. In Sequenz 1 ist die Funktion „Ausdrucken des aktuellen Fensters“ zu sehen. Im Sequenzfall 3 wird über das LabVIEW-interne „System Exec.vi“ (im Unterprogramm „bsp. Appl.vi“) eine html-Seite aufgerufen. In den Sequenzen 6 und 9 werden weitere Unterprogramme geöffnet, über die entweder ein Video gestartet werden oder abstrahierte, manuelle Maschineneinstellungen vorgenommen werden können.

Beispiellösung: Erstellung einer Aufheizkurve (Ofenkennlinie)

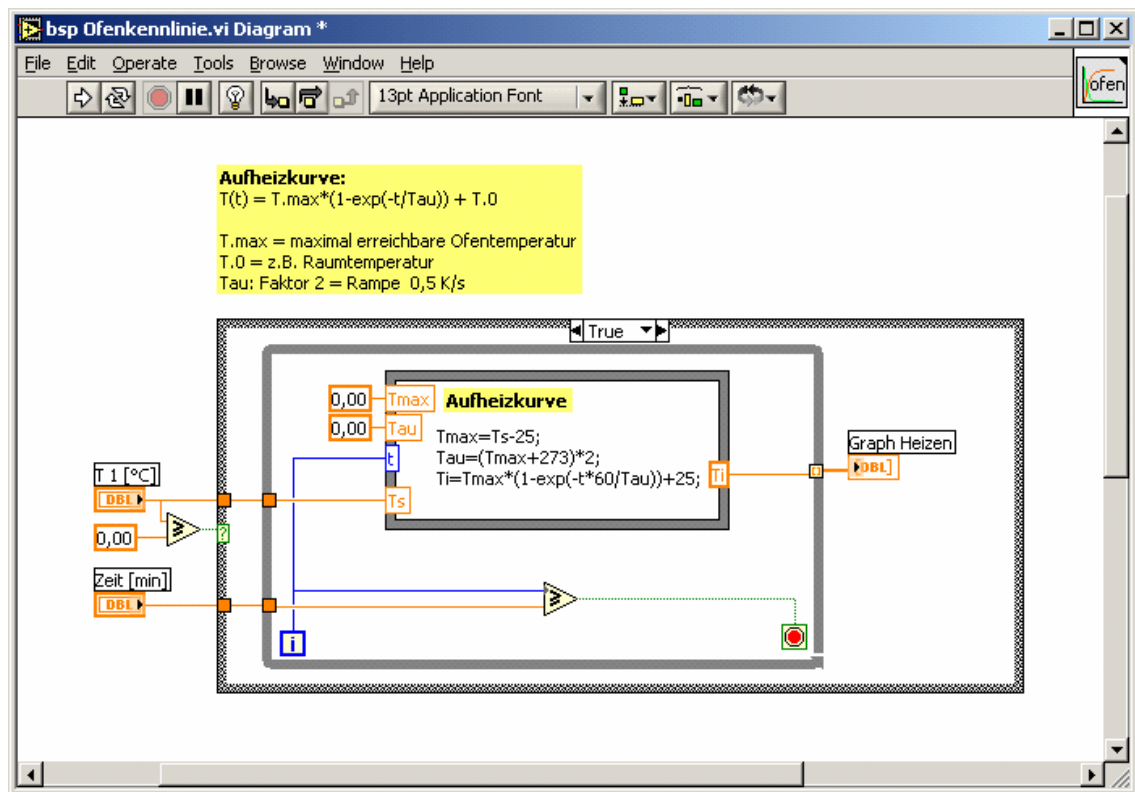


Abb. 5: VI-Diagramm zur Beispiellösung „Ofenkennlinie“

Diagrammerläuterung:

Die Berechnung der Aufheizkurve erfolgt über eine mathematische Formel, die in einen Formelknoten integriert ist. Die Studierenden geben für die Aufheizkurve die gewünschte, vom Ofen zu erzielende Temperatur z.B. 1200°C und die Dauer der Aufheizphase ein. Die einzelnen Punkte der Kurve werden mittels einer „While-Schleife“ berechnet, wobei die Anzahl der Schleifendurchgänge (= Anzahl der Kurvenpunkte) von der eingegebenen Zeit (Eingabe in Minuten) abhängt. Für jede Minute wird ein neuer Kurvenpunkt berechnet und im Frontpanel in einem Diagramm dargestellt.



Diagrammerläuterung:

Das Beispiel der Rezepttabelle ist umfangreicher, so dass hier als Abbildung nur zwei Auszüge aus dem Diagramm zu sehen sind. Im Sequenzfall 2 („Hauptfenster Rezepttabelle“) sind die verschiedenen Bedienelemente, auf die die Studierenden Zugriff haben, zu sehen. In den Sequenzfällen 0 und 1 (nicht dargestellt) werden Initialisierungen durchgeführt. Die Studierenden können in den weißen Feldern der Rezepttabelle (s. Abb. 6) verschiedene Einstellungen vornehmen, die zunächst in einer Testtabelle – quasi einem Zwischenspeicher – gesammelt werden. Über ein Menü (bsp menu\_tabelle.vi) können die vorgenommenen Einstellungen in einem Textfile abgespeichert werden. Weitere Menüpunkte sind u.a. Datei/ Schließen, Datei/ Beenden, Eingaben auf Fehler überprüfen. Die Überprüfung dieser Eingaben ist als Ausschnitt in dem unteren Teil der Abbildung zu sehen. Die Einstellungen werden mit vorgegebenen, für den Hochtemperaturofen typischen Grenzwerten verglichen. Die Studierenden erhalten als Rückmeldung einen Fehlertext, in dem die falsche Eingabe näher spezifiziert wird (hier nicht abgebildet). In dem dargestellten Ausschnitt werden eingegebene Temperaturen (Sollwerte Zone 1, 2, 3; s. Abb. 7) mit den Grenzwerten verglichen. Die Grenzwerte stehen in einer gesonderten Textdatei (Sollwerte.txt) und können bei Simulation eines anderen Hochtemperaturofens mit anderen Kenndaten entsprechend angepasst werden.

## **Zusammenfassung**

Im Technologiepraktikum „Sensor-Fertigung“ lernen die Studierenden anhand von virtuellen Maschinen die Bedienung realer Anlagen kennen. Der sichere Umgang sowie die korrekte Bedienung von komplexen Fertigungsanlagen werden auf diese Weise erlernt. Die entwickelten, virtuellen Anlagen werden so für die Vorbereitung auf reale Maschinenbedienungen eingesetzt. Die Studierenden können die bei der Umsetzung gewonnenen Kenntnisse für andere Bereiche der Fertigungskette wie z.B. CVD-Prozesse (= Chemical Vapor Deposition) verwenden.

Die Maschinensimulationen werden in LabVIEW realitätsnah bezüglich Oberflächendesign und zugehöriger Steuerung programmiert. Viele von LabVIEW angebotenen Funktionalitäten (Internet, Interpolation, Kurvengraphen, Active X etc.) werden dabei verwendet. Das fertige Simulationsmodul Hochtemperaturofen, das in diesem Beitrag ausführlicher beschrieben wird, ist als eine Komponente des virtuellen Technologiepraktikums anzusehen. Weitere Simulationsmodule sind in der Umsetzung und werden voraussichtlich Ende 2003 fertig gestellt.

Projekt INGMEDIA: Gefördert durch das bmb+f im Rahmen des Programms „Neue Medien in der Hochschullehre“.