



Foto: SELMO GmbH / iStockphoto

Elke Ferstl, Reinhard Haslauer, Alexander Schlager

## Praxisbericht: Sequence Logic Modelling

### Mit unlimitierter Software zu nachhaltig digitalen Maschinen

Schlagwörter wie smarte Produktion, Industry 4.0, IoT oder Blockchain treiben die Digitalisierungsbemühungen produzierender Unternehmen voran. Bei der Suche nach technologischen Lösungen, die durchgängig in alten und neuen Maschinen funktionieren, sind sie auf interne und externe Experten angewiesen. Viel Zeit und Geld wird investiert – und dennoch kennen viele Maschinenbetreiber folgendes Szenario allzu gut: Die Anlage ist geplant, umgesetzt und installiert, aber die geplante Leistung wird nicht erreicht. Den Bedienern fällt es schwer, die neue Anlage zu bedienen. Oder aber die Maschine fällt aus und keiner – außer dem SPS-Programmierer – weiß, warum. Nur leider ist dieser aktuell an ein anderes großes Projekt gebunden. Und so wird die Software, die einen kleinen Teil der Anschaffungskosten für die Maschine ausgemacht hat, plötzlich zum Grund, warum nicht gefertigt und folglich nicht verkauft werden kann.

Dieser Artikel zeigt Ursachen für ineffiziente Automatisierungsprozesse auf, die selten benannt werden. Daran anknüpfend wird mit Sequence Logic Modelling (SELMO) eine Technologie vorgestellt, die das Potential hat, Stillstände zu reduzieren und energieeffizienter zu produzieren.

Die Programmierqualität etablierter Systeme wie SPS-Steuerungen und SCADA ist jeweils auf die individuelle Software-Entwicklung beschränkt. Die Methode des Sequence Logic Modelling hingegen erzeugt die SPS-Ablauflogik automatisch: Basierend auf einem universalen, frei verfügbaren Maschinen-Standard modelliert sie die Ablauflogik und generiert mit einem patentierten Verfahren automatisch Schrittketten und die Diagnose aller möglichen Maschinen-Zustände. Eine SELMO-Maschine

im Betrieb führt genau das aus, was der Mensch als Prozess vorgibt. Sie wird von einem System gesteuert, das den Menschen in jeder Situation über den Systemzustand informiert.

#### 1. Folgen limitierter Software

Zurück zum Stillstandszenario: Dass Fehler passieren, ist unvermeidbar und menschlich. Ein klares Fehlermanagement aber könnte dem Bediener in Fehlersituationen die nötige Unterstützung bieten. Jedoch wird die Anlagen-Programmierung in der Praxis noch immer häufig auf deren Funktion beschränkt, womit Überlegungen für das Mensch-Maschinen-Interface entweder auf der Strecke bleiben oder nachträglich vom Programmentwickler hinzugefügt werden müssen. Dabei hängt die Qualität der HMI (Human Machine Interface) stark von der

zur Verfügung stehenden Entwicklungszeit ab.

Mit der IEC 61131 wurde eine grundlegende Norm für SPS-Hersteller als Standard anerkannt. Diese Norm beschreibt die Hardware, die Funktion und die Programmiersprachen – jedoch nicht die Erstellung der Programmlogik. Auch heute noch wird jede Maschine individuell und mehr oder weniger manuell programmiert. Für eine maximale Funktionsstabilität müsste der Software-Entwickler alle Signalzustände und Bitmuster einer Maschine vorwegnehmen und fehlerfrei programmieren. Und das ist rein mathematisch unmöglich.

Selbst die scheinbar einfachste Maschine mit vielleicht drei Prozessschritten braucht für die Automatisierung fünf Inputs – zum Beispiel für zwei einfache Zylinder und eine

Taste. Drei Schritte und fünf Inputs ergeben 32 mögliche Bitmuster in der Software. In jedem Schritt und in jedem Übergang von Schritt zu Schritt muss nun jede der 32 Möglichkeiten so definiert sein, dass es nur ein einzig gültiges Bitmuster gibt. Damit die Maschine reibungslos läuft, müsste der Programmierer diese Komplexität im Code teils manuell, teils mit modularen Bausteinen beantworten. Die moderne Industrie aber ist meist weit entfernt von simplen 3-Schritt-Maschinen. Umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich bei der manuellen Programmierung und den Zustandsbeschreibungen Fehler einschleichen. Im Ernstfall müssen Betreiber den gesamten SPS-Code prüfen lassen und sich mühsam zur eigentlichen Fehlerquelle vorarbeiten. Das bedeutet meist, den Standardanbieter zu kontaktieren und lange Standzeiten in Kauf zu nehmen.

Auch Tipp- und Kopierfehler in modularen Bausteinen können sich ausbreiten. Werden Funktionsbausteine für Automatisierungsstandards vom Programmierer über den Standardkäufer bis zum Zulieferer weitergereicht, pflanzen sich unvermeidbare Fehler in einer komplexen Funktionskette fort und müssen mühsam zurückverfolgt und behoben werden. Die Tatsache, dass ein Entwickler alle theoretisch möglichen Fehler bedenken und die dazugehörigen Meldungen zudem am Display schlüssig formulieren muss – und nur diese Fehlermeldungen dem Bediener im Fehlerfall bereitstehen –, schafft eine weitere qualitative Abhängigkeit.

**2. Die Folgen des losgelösten Engineerings „digital last“**

Geht man in der Ursachenkette einen Schritt zurück, findet sich ein weiterer Nährboden für Fehlerquellen: Irrtümer in der Informationsweitergabe. Das notwendige Zusammenspiel einzelner Domänen in heterogenen Produktionssystemen der Mechatronik stellt die moderne Systemmodellierung vor neue Herausforderungen. Einerseits werden Systeme komplexer und andererseits sollte der Prozess so beschrieben werden, dass alle Domänen die gleiche Sprache verstehen und verwenden.

Als Brückenschlag kommt in der Entwicklung mechatronischer Systeme das V-Modell zur Anwendung. Es ist ein Vorgehensmodell für IT-Entwicklungsprojekte, wobei das „V“ eine Gegenüberstellung von Validation und Verifikation im Rahmen einer Entwicklung visualisiert. Der Entwicklungsprozess gliedert sich dabei idealtypisch in drei Phasen: Ausgehend von den Anforderungen wird ein domänenübergreifender Systementwurf entwickelt, aus dem die Teilaufgaben für die einzelnen Disziplinen abgeleitet werden. Die jeweiligen Ergebnisse werden während der Systemintegrationsphase zusammengeführt. Dies geschieht unter ständiger Absicherung der festgelegten Systemeigenschaften. Am Ende der Systemintegration steht das fertige mechatronische System. Jedoch verbergen sich in der Vielzahl von Schnittstellen zwischen einzelnen Domänen Fehlerquellen, die zu Terminverzug und Mehrkosten führen (Vajna et al. 2017, S. 38-40).

Folgeschwer, weil verstärkend, ist der Umstand, dass die nicht digitalen Disziplinen der Mechanik und Elektrotechnik als Programmiergrundlagen dienen. Obwohl nur die Software in einer Maschine digital ist, kommt sie erst am Ende des Engineerings. Spät werden die Erkenntnisse aus Mechanik und Elektrotechnik digitalisiert und in eine Software-Anforderung übersetzt. Übertragungsfehler, die vom Kunden zum Engineer bereits passiert sind, interpretiert die Software-Entwicklung unter Umständen noch einmal anders. Was fehlt, ist die domänenübergreifende Sprache.

**3. Der Prozess des Sequence Logic Modelling**

Im Ansatz des Sequence Logic Modelling (SELMO) hingegen wird der zu erfüllende Prozessablauf als verbindender Blick auf das mechatronische System genutzt. Dieses muss einen vorab definierten, logischen Ablauf prozesssicher nach der Prämisse abarbeiten: Der Mensch denkt, die Maschine folgt. Wird dieser Ablauf von Beginn an interdisziplinär modelliert, lassen sich einfacher klar definierte Arbeitspakete für die einzelnen Gewerke ableiten. Die Schnittstellen sind exakt definiert und die

Ergebnisse früh prüfbar. Genauso folgerichtig ist der Ansatz, dass die Software als Steuerrad der Automatisierung maßgeblicher Bestandteil des Engineerings sein muss. All diese Anforderungen an stabile Automatisierung erfüllt die patentierte Technologie des ablauflogischen Modellierens: Sobald der Ablauf beschrieben und über vier „Layer“ (Logik, System, Parameter, Anzeige) modelliert ist, lässt sich die ablaufrelevante Software und die HMI automatisch generieren statt programmieren.

Ein speziell entwickeltes Modellierungswerkzeug bildet die Ablauf- und

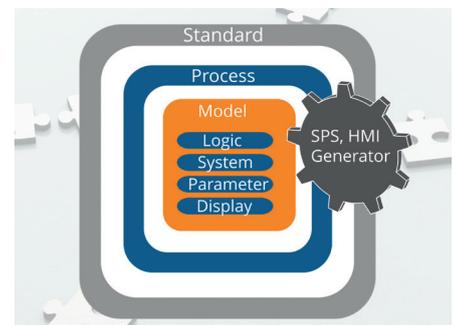


Abbildung 1: Sequence Logic Modelling – vom Modell mit vier Layern zu SPS und HMI Generator

System-Anforderungen prozessual und datentechnisch hardwareunabhängig ab. Die Flexibilisierung läuft über Parameter und die frei gestaltbare Anzeige über generierte Datenpunkte. Dadurch hat jede einzelne Fachdisziplin im SELMO Engineering einen klar definierten zu erfüllenden Ablauf, mit der Aussicht auf Validierung und Testung im frühen Entwurfsstadium. Die neue Automatisierungslösung unterstützt nicht nur bei der Formulierung der Anforderung, sondern leitet daraus auch generierte bit-kontrollierte SPS-Software für den Betrieb und für die HMI ab. Sie ist lesbar und bietet definierte Schnittstellen zu Treibern und Subsystemen. Vordefinierte Standards müssen von SPS-Programmierern nicht mehr mühsam umgesetzt, sondern können automatisiert übernommen werden. Manuelle Interpretations- oder Umsetzungsfehler werden so minimiert. Durch die Integration des Sequence Logic Modelling in die Umsetzung des V-Modells fallen die Schnittstellen „Systementwurf“ und „Software“ weg und die Teilergebnisse der Domänen sind früher evalu-

ierbar. Damit verbessert sich sowohl das interdisziplinäre Zusammenspiel der einzelnen Domänen als auch die Performance der Spezialdomäne „Software-Entwicklung“, welche weniger Zeit beansprucht.

Der modellierte Ablauf beziehungsweise Prozess kann an frühen Anlagenmodellen überprüft werden und ein digitales Lasten- und Pflichtenheft entsteht. Programmierer können sich auf ihre Kernkompetenzen wie etwa die Treiber-Entwicklung fokussieren und werden von Copy-and-Paste- und Routineaufgaben entlastet. Weil Logik und Funktion voneinander getrennt sind, sind Software-Änderungen rasch am Modell gemacht. Software wird wie Mechanik und Elektrotechnik austauschbar. Das schafft die Voraussetzungen für eine Automatisierungslogik, die fehlerfreie SPS-Programme rasch in neue als auch in Retrofit-Maschinen bringt.

#### 4. Nutzen, Potentiale und Herausforderungen von Sequence Logic Modelling

Indem der Standard durch die automatische Code-Generierung eingehalten wird, kann Sequence Logic Modelling ungeplanten Ausfällen vorbeugen. Dafür unterliegt die Software einer festen, einheitlichen Struktur: Fehlermeldungen und Programmlogik sind miteinander gekoppelt und bereits während der Entwicklung ein fixer Bestandteil der Modellierung. Kernelement ist eine Fehlermatrix, die an der Schnittstelle zum Menschen zu jeder Zeit des Programmablaufes eindeutige Informationen zum aktuellen Zustand der Anlage liefert. Im Fehlerfall kann der Bediener beziehungsweise der Servicetechniker an der Mensch-Maschinen-Schnittstelle die Fehlerursache lokalisieren.

Die Signalüberwachung während der gesamten Laufzeit ist definierbar: Wann immer ein Signal, eine Endlage oder ein Zustand den definierten Wert verliert, wird dies von der Software detektiert und im Klartext angezeigt. Wenn manuelle Bewegungen ausgeführt werden sollen, die durch die Programmierung verriegelt sind, werden die relevanten Verriegelungen an dem HMI angezeigt. So kann der

Bediener die richtigen Aktionen intuitiv ausführen.

Potentiale von Sequence Logic Modelling liegen zusammengefasst in der hohen Funktionsstabilität der Software, der leichten Bedienbarkeit von Maschinen, der flexiblen und nahtlosen Integration neuer Prozesse, der Optimierung alter Prozesse und der effizienten Modernisierung ganzer Systeme. Der Weg zur einheitlichen Automatisierung über die früh erstellte Software bietet hohe Datentransparenz.

Erstanwendern aber muss bewusst sein, dass eine nach SELMO modellierte Software exakter arbeitet. Dadurch können bei Retrofit-Projekten bisher unentdeckt gebliebene Hardware-Probleme festgestellt werden. Speziell die Sensorik muss in einer frühen Projektphase exakt eingestellt werden. Da jeder Zustand diskret überwacht wird, ist jedes Fehlerverhalten sofort diagnostizierbar. Programmierer stehen außerdem vor der Herausforderung, die einzelnen Zustände des Gesamtablaufes exakt beschreiben zu müssen. Dafür ist ein Umdenken von der auf Transitionsbedingungen basierenden Ablaufprogrammierung hin zur diskreten Zustandsmodellierung notwendig. Zudem müssen ein neuer Standard und ein neues HMI-Konzept bei allen Partnern und Abnehmern installiert werden, um mit ihnen die transparente Modellierung der Maschinenprozesse zu vereinbaren.

#### 5. Fallbeispiel eines Retrofit-Projekts

Ein Retrofit-Projekt in der Holzverarbeitungsbranche zeigt das Opti-

mierungspotential von Sequence Logic Modelling. Die Ausgangslage in diesem Fallbeispiel: 23 Sequenzen, 373 Zonen, 227 Schritte, 12 Servoachsen, 13 Laufwerke, 5 Asynchron-Motoren, 236 Eingänge und 172 Ausgänge, Benutzerschnittstelle und ERP-Schnittstelle, SPS Beckhoff (TwinCat 3).

Die Inbetriebnahme der ablauflogischen Software als Kern der Maschine benötigte lediglich fünf Tage. Im Anschluss wurden Treiber für die ERP-Anbindung und Auftragsverwaltung in Betrieb genommen. Rasch zeigte die SELMO Software Hardware-Schwächen auf. So arbeitete die vorhandene Sensorik bei Weitem nicht präzise genug. Beispielsweise stellte ein Zylinder mit unterschiedlichsten Arbeitsstellungen eine unerwartete Herausforderung dar. Vermutlich aus Kostengründen wurde im Erst-Engineering auf die notwendige Abfrage dieser Stellungen verzichtet. Um diesen Prozessschritt nach dem SELMO Standard sicher überwachen zu können, musste die benötigte Sensorik gezielt nachgerüstet werden. Ein ganzer Arbeitstag wurde investiert, um die für eine ständige Überwachung erforderliche Qualität aller bestehenden Signale herzustellen.

Im laufenden Maschinen-Betrieb informiert die SELMO-Software den Bediener in Echtzeit über den nächsten Schritt, darüber, was zu tun ist und was fehlt. Weil diese Informationen von Beginn an verfügbar sind, können leichter Aufgaben zur weiteren Verbesserung der Maschine abgeleitet werden. Der Durchsatz konnte dank besserer Zykluszeiten um 25 % gesteigert und die Verfügbarkeit

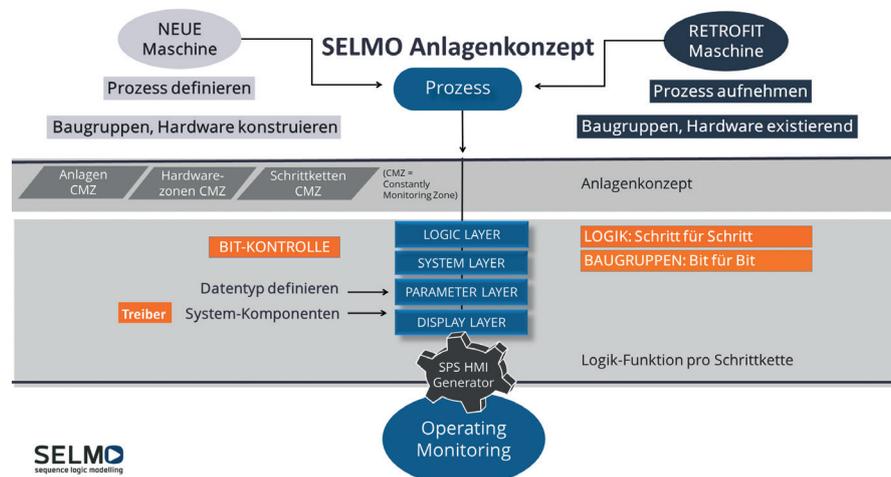


Abbildung 2: Das SELMO-Anlagenkonzept im Überblick für neue und alte Maschinen

durch die Überwachung weiter optimiert werden.

**6. Fazit: Disruptive Technologie mit hohem Potential**

Die neue Methode des ablauflogischen Modellierens versteht Automatisierung als übergeordneten Prozess, der vom ersten Zulieferer bis zum letzten Abnehmer kohärente und eindeutige Daten generiert, die für eine reibungslose Kommunikation zwischen allen Prozessschritten sorgen und gleichzeitig alle Prozessschritte sichtbar machen. Das macht das Potential einer ausgereiften Steuerungssoftware aus: Sie löst die Wertschöpfungskette vom engen Fokus auf bestimmte Maschinen und beschreibt stattdessen eindeutige Zustände in Bits. Die SELMO-Software agiert als Turingmaschine, die in jedem Echtzeitzyklus überwacht, ob das vorliegende Bitmuster gültig ist, und mit Fehlermeldungen oder einem Weiterschalten in den nächsten Schritt reagiert. Dadurch generiert sie verwertbare Daten über jeden einzelnen Zustand. Mit diesem Level an digitaler Sichtbarkeit lässt sich das Verhalten der Maschine nicht nur bestimmen – es lässt sich zu einem großen Teil auch vorher sagen. Die neue Technologie erlaubt es, Testszenarien, Verhaltensweisen und mögliche Fehlerquellen vor dem eigentlichen Betrieb durchzuspielen. Das kann Ausfälle im Betrieb minimieren und schafft Freiraum für kreative Überlegungen zur energieeffizienten, ökologischen und wirtschaftlichen Prozessoptimierung, die sich ohne Risiko ausprobieren und auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüfen lassen.

*Quellen:*

Arbeitsgruppe 19 Software-Engineering I, CEFE - CAD/CAM-Entwicklungsgesellschaft: Klassische Fehler in der Software-Entwicklung: [https://pi.informatik.uni-siegen.de/stt/15\\_4/15\\_4\\_tb\\_cefe/15\\_4\\_se-errors-2.html](https://pi.informatik.uni-siegen.de/stt/15_4/15_4_tb_cefe/15_4_se-errors-2.html), [02.11.2020].  
Lunze, J. (2020). Automatisierungstechnik. Methoden für die Überwachung

und Steuerung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme. 5. Auflage, German Edition, Kindle-Version, Oldenburg: De Gruyter.

Rösch, S./Tikhonov, D./Vogel-Heuser, B. (2015). Testen in der Automatisierungstechnik – Anforderungen und Lösungsansätze. In: Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Testen in der Automatisierungstechnik vom Gerät bis zur Anlage. Göttingen: Sierke Verlag, S. 41-50.

Vajna, S./Weber, C./Zeman, K./Hehenberger, P./Gerhard, D./Wartzack S. (2018). CAX für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung. 3. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg.

Zander, H. J. (2015): Steuerung ereignisdiskreter Prozesse: Neuartige Methoden zur Prozessbeschreibung und zum Entwurf von Steueralgorithmen. German Edition, Kindle-Version, Wiesbaden: Springer Vieweg.

*AutorInnen:*

**Mag. Elke Ferstl**, Publizistin, Kommunikationswissenschaftlerin (FU, HU Berlin), nach internationalen Berufs- und Ausbildungsstationen seit 2005 Unternehmerin. Spezialisiert auf Beratung und Training für Unternehmenskommunikation sowie digitale Balance am Arbeitsplatz.

**Dipl.-Ing. Reinhard Haslauer** studierte an der TU Graz Wirtschafts-



**Mag. Elke Ferstl**  
Publizistin, SELMO Co-Founder



**Dipl.-Ing. Reinhard Haslauer**  
SELMO Vertriebsleiter



**Alexander Schlager, BSc**  
Projektingenieur, Software-Developer, SELMO GmbH

ingenieurwesen Maschinenbau, Fachrichtung Produktionstechnik. Nach Managementfunktionen in der Magnesit-/Holzindustrie gründete er 2003 ein Beratungsunternehmen mit dem Schwerpunkt Supply-Chain-Management. Aktuell baut er den SELMO B2B-Vertrieb auf.

**Alexander Schlager, BSc**, war nach einer Elektrotechnik-Ausbildung an der HTL Salzburg Software-Developer in der Automobilbranche. 2019 absolvierte er das berufsbegleitende Studium Mechatronik/Wirtschaft an der FH OÖ.