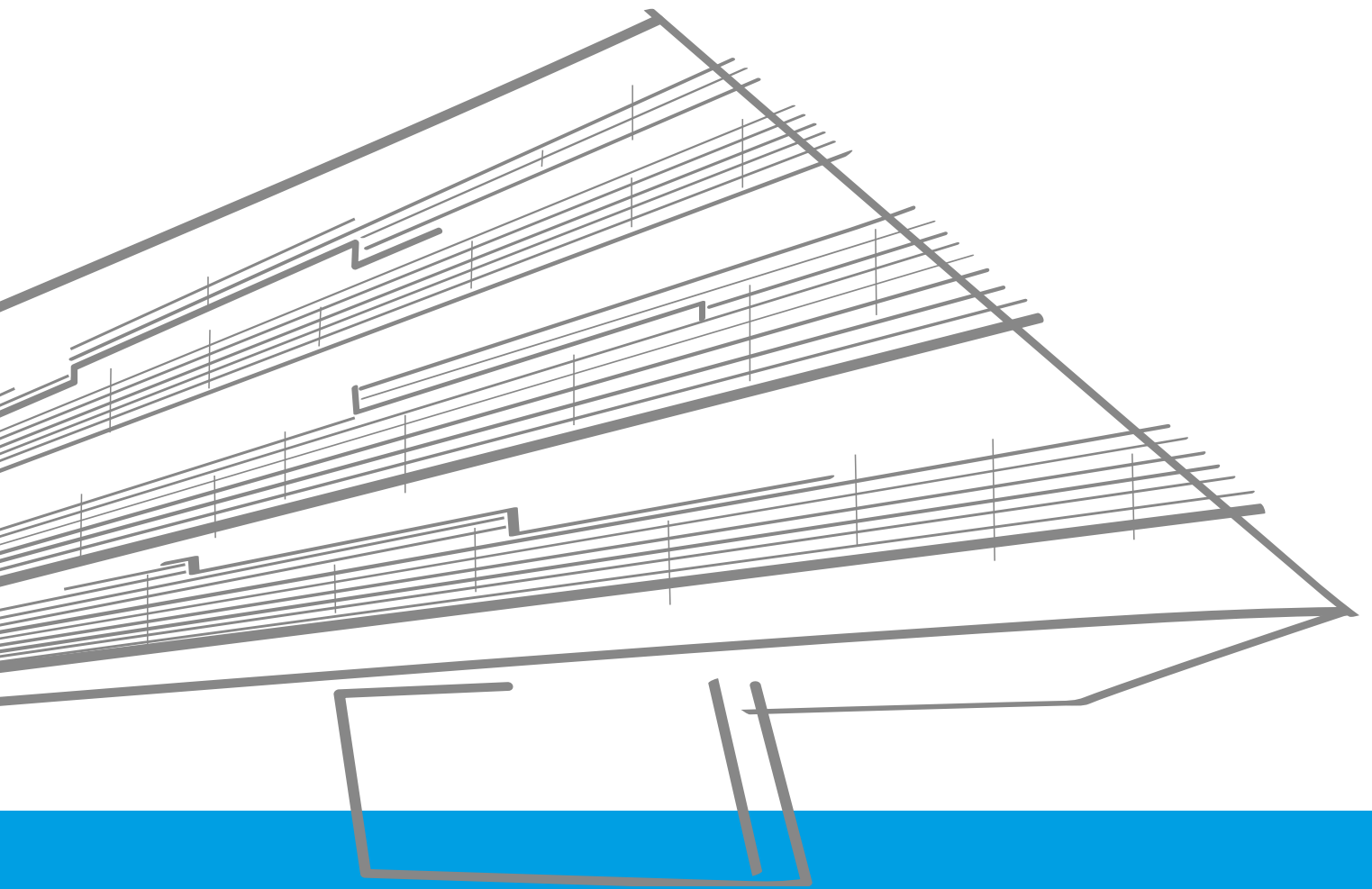




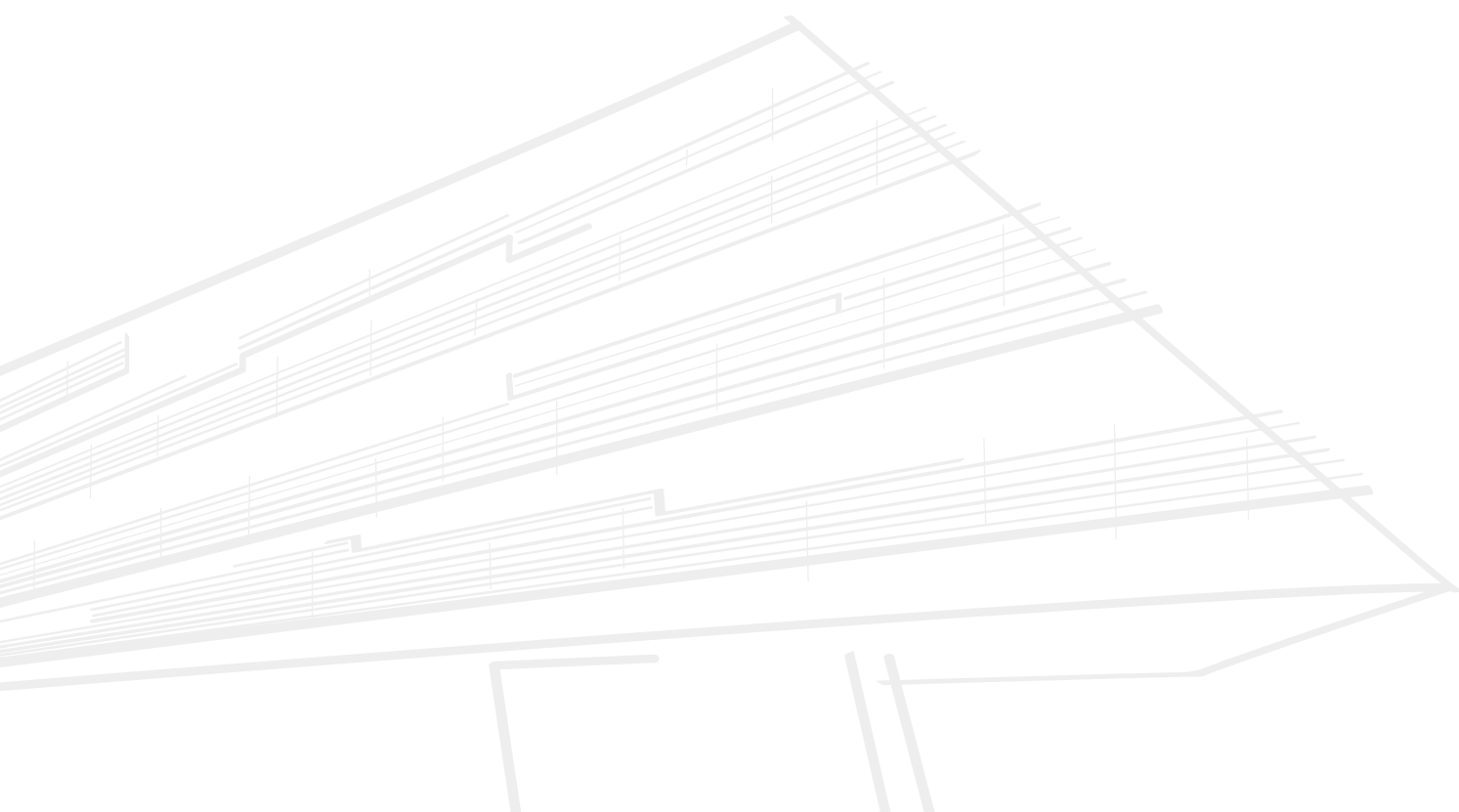
VIRTUELLE INBETRIEBNAHME

Whitepaper

www.lcm.at

INHALT

Virtuelle Inbetriebnahme –	
Methoden, Vorgehensweise, Nutzen/Aufwand	3
Kopplung des Automatisierungssystems mit der virtuellen Anlage	5
Vier Kopplungsvarianten	6
Digitalen Zwilling generieren	7
Vorgehensweise bei der Virtuelle Inbetriebnahme	8
Nutzen und Aufwand	10
Fazit	11
Literatur, Beispiele Softwarelösungen, Kontakt	12



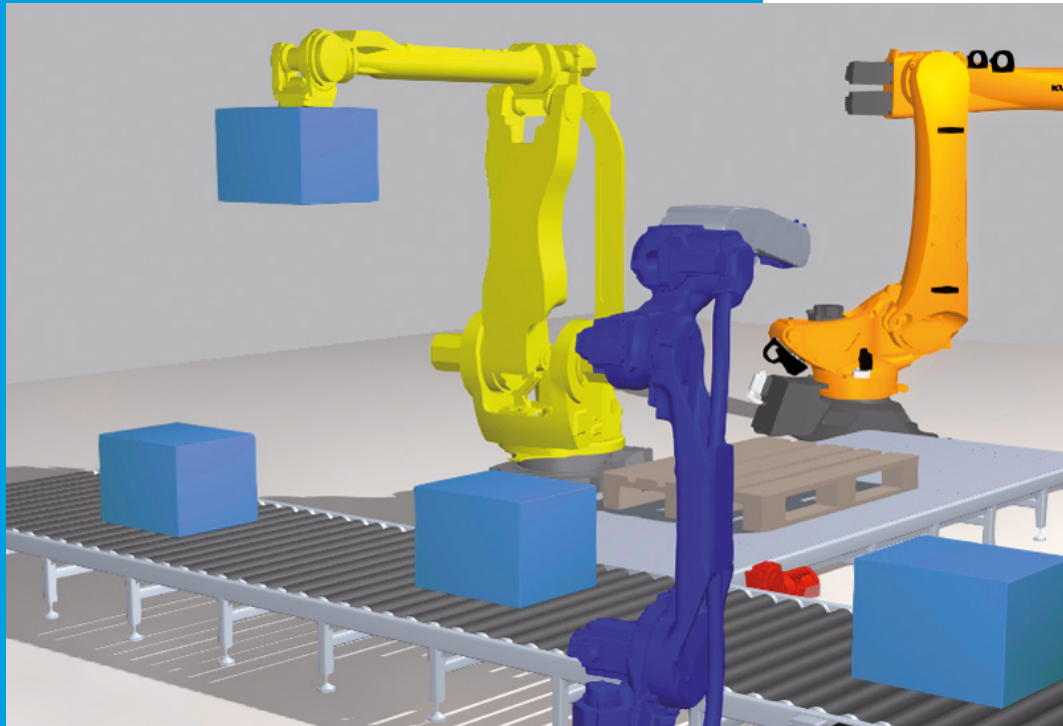
Impressum

Herausgeber Linz Center of Mechatronics GmbH **Adresse** Altenberger Straße 69, 4040 Linz, Austria **Telefon** +43 (0)732/2468–6002
Fax +43 (0)732/2468–6005 **E-Mail** office@lcm.at **Web** www.lcm.at **Blattlinie** Technische Informationen und News aus Forschung und
(Produkt)Entwicklung



VIRTUELLE INBETRIEBNAHME –

Methoden, Vorgehensweise, Nutzen/Aufwand



■ Die Reduktion der Inbetriebnahmedauer bei gleichzeitiger Verbesserung der Leistungsbereitschaft von Maschinen und Anlagen zum Produktionsstartzeitpunkt stellen wesentliche Maßnahmen zur Erhöhung des wirtschaftlichen Erfolgs sowohl auf Kunden- wie auch auf Anbieterseite dar.

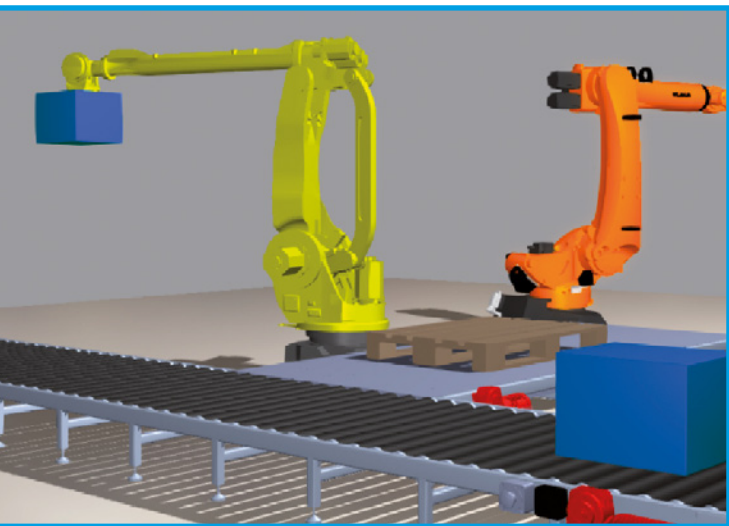


Abbildung 1: 3D-Simulationsumgebung

■ Die Komplexität moderner Maschinen und Anlagen erschwert eine genaue und detaillierte Überprüfung sämtlicher Abläufe und Prozesse im Vorhinein, sodass Konstruktions-, Verkabelungs- und Programmierfehler erst bei der Inbetriebnahme (IBN) entdeckt werden und somit nur durch zeit- und kostenintensive Reparaturen behoben werden können.

Um Fehler zu vermeiden werden in allen Phasen des Entwicklungsprozesses unterschiedliche Validierungsvorgänge durchgeführt. Ein Großteil der Probleme bei der Inbetriebnahme ergeben sich jedoch meistens aus dem Zusammenspiel von Hard- und Software, was sich bisher kaum bzw. nur mit unwirtschaftlichem Aufwand vorab überprüfen lässt.

Seit jüngster Zeit stehen in diesem Bereich simulationsbasierte Methoden zur Verfügung, die im Allgemeinen mit dem Begriff „Virtuelle Inbetriebnahme“ (VIBN) bezeichnet werden. Im Wesentlichen wird damit die Durchführung einer Simulation des von der Maschine oder der Anlage realisierten Prozesses mit Hilfe eines Modells in einer virtuellen 3D-Umgebung verstanden. Diese Simulation kann bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess durchgeführt werden, wodurch sich die Möglichkeit ergibt, Änderungen an der Automatisierungssoftware, bis hin zu eventuell notwendigen Adaptionen an der Maschine oder Anlage selbst, sehr effizient und vergleichsweise kostengünstig vorzunehmen oder zusätzliche Optimierungen durchführen zu können. ■

KOPPLUNG DES AUTOMATISIERUNGSSYSTEMS MIT DER VIRTUELLEN ANLAGE

■ Unter dem Begriff der VIBN werden teilweise unterschiedliche Ausprägungen einer Maschinen- oder Anlagensimulation verstanden. Teilweise wird bereits eine reine Ablaufsimulation als einfachste Form der VIBN angesehen. Ziel dieser Ablaufsimulation ist meistens die Validierung des Steuerungskonzeptes. Die Überprüfung der korrekten Abfolge der einzelnen Schritte eines Ablaufes stellt dabei sicher, dass die Maschine oder Anlage nicht in einen unvorhergesehenen Zustand gebracht wird und vorgegebene Taktzeiten eingehalten werden können.

Die Steuerung wird bei der reinen Ablaufsimulation üblicherweise direkt in der Simulationsumgebung programmiert, wobei eine Übertragung dieses Programms auf die finale Automatisierungseinrichtung meistens ohne Weiteres nicht möglich ist.

Aktuelle VIBN-Softwarelösungen unterstützen inzwischen die direkte Kopplung der Automatisierungshard-

ware mit einer 3D-Simulationsumgebung, was dem Begriff VIBN deutlich gerechter wird. Dabei wird direkt die Implementierung auf der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) eingesetzt, um ein virtuelles Abbild der Maschine oder Anlage in Form eines digitalen Zwillings zu steuern. Der digitale Zwilling kann somit bereits vor der Montage der realen Maschine oder Anlage mit der tatsächlichen SPS und der darauf implementierten Software in Betrieb genommen werden. Das reale Automatisierungssystem kann jetzt detailliert getestet werden, wodurch eventuelle Fehler vorab behoben und die Softwarequalität gesteigert werden kann. Durch diese VIBN können Inbetriebnahmerisiko und Inbetriebnahmedauer wesentlich reduziert, aber auch zusätzliche Optimierungen am Ablauf vorab effizient durchgeführt werden. ■

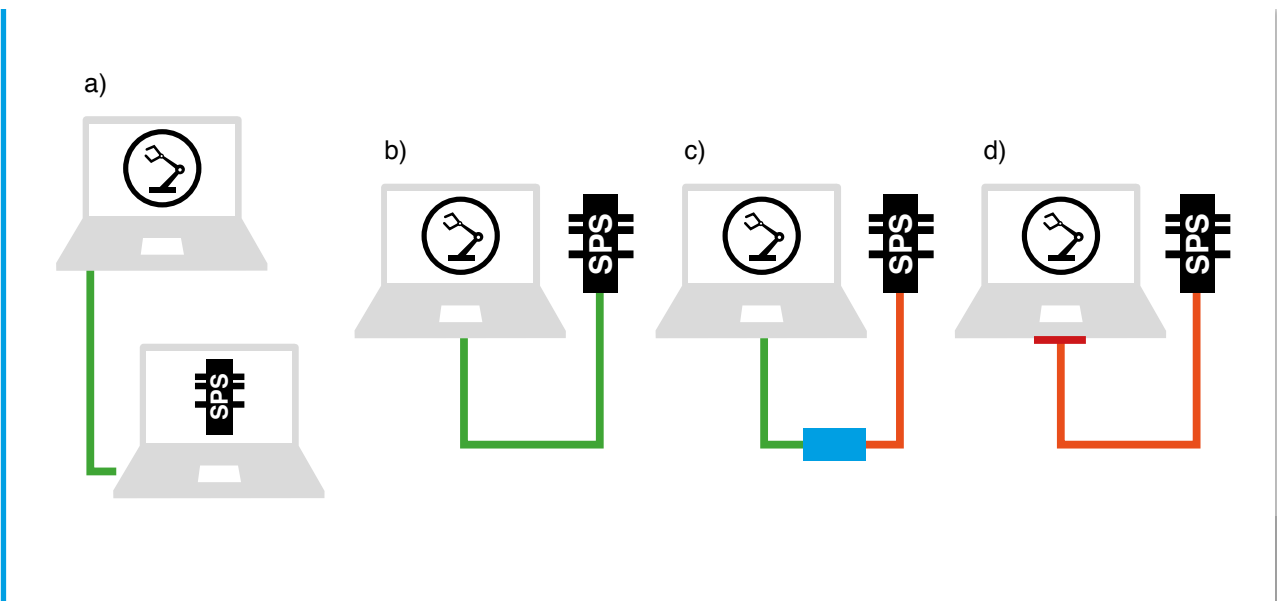


Abbildung 2: a) Kopplung mit Soft-SPS, b) Kopplung über Ethernet (TCPIP), c) Verwendung der Kopplungsbox für Feldbus-Anbindung, d) Kopplung mit Feldbus über Spezialhardware.

VIER KOPPLUNGSVARIANTEN

■ Für die Kopplung von SPS und 3D-Simulationsumgebung werden von modernen Automatisierungssystemen im Allgemeinen vier verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung gestellt, siehe Abbildung 2.

■ Die erste Variante nutzt die Simulation der SPS am PC, bei der die Laufzeitumgebung der SPS als eigene Applikation in der Betriebssystemumgebung des PCs läuft. Hierfür wird keine Automatisierungshardware benötigt, weshalb man in diesem Fall auch von „Software in the loop“ (SIL) spricht bzw. die Steuerungseinheit als „Soft-SPS“ bezeichnet wird. Wie die Abbildung 2 a) zeigt, muss die Soft-SPS dabei nicht zwingend auf demselben PC wie die 3D-Simulationsumgebung laufen.

■ Bei der zweiten Variante, Abbildung 2b), wird die SPS nicht simuliert, sondern die tatsächliche SPS-Hardware über ein Netzkabel mit dem PC verbunden. Bei dieser als „Hardware in the loop“ (HIL) bezeichneten Form kann im Vergleich zur ersten Variante auch die Rechenleistung der gewählten SPS berücksichtigt werden. Bei beiden Varianten ist üblicherweise die Signalübertragung zwischen (Soft-)SPS und 3D-Simulationsumgebung mittels TCPIP (bzw. darauf aufbauend auch mittels OPC UA) realisiert und erfordert daher SPS-seitig eine entsprechende Implementierung der Kommunikation.

■ Möchte man dies vermeiden, um die Unterschiede zwischen virtueller und realer Inbetriebnahme weiter zu reduzieren, werden von manchen Anbietern Hardwaremodule zur Kopplung des nativen Feldbusses mit TCPIP-Kommunikation über Ethernet angeboten, siehe Abbildung 2 c). Mit dieser dritten Variante wird somit eine Lösung geboten, bei der auf SPS-Seite keine Unterscheidung zwischen realer und virtueller Inbetriebnahme erfolgen muss.

Kann der PC den digitalen Zwilling der Maschine oder Anlage entsprechend schnell ausführen, und werden die auszutauschenden Signale entsprechend schnell übertragen, kann ein Systemverhalten in Echtzeit realisiert werden. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der genutzten TCPIP-Kommunikation und der Simulation der Maschine oder Anlage in der Betriebssystemumgebung des PCs, das Echtzeitverhalten nicht garantiert ist. Ist die harte Echtzeitfähigkeit des Systems eine Notwendigkeit für die virtuelle Inbetriebnahme, z. B. bei der Inbetriebnahme einer Maschine mit schnellen, hochdynamischen Abläufen, so müssen auch auf der Simulationsseite entsprechende Voraussetzungen getroffen werden.

■ Bei der vierten Variante wird für die Sicherstellung des Echtzeitverhaltens ein spezieller Echtzeitkern für die Simulation des digitalen Zwillings eingesetzt. Außerdem erfolgt eine direkte Anbindung des nativen Feldbusses über eine spezielle Einsteckkarte am PC, wie schematisch in Abbildung 2 d) dargestellt.

Bei der Auswahl einer geeigneten Variante empfiehlt es sich die genaue Zielsetzung der virtuellen Inbetriebnahme festzulegen und die Simulationsanforderungen des digitalen Zwillings der Maschine oder Anlage hinsichtlich Komplexität, Detaillierungsgrad und Dynamik zu untersuchen. Die entsprechend den vier Varianten unterschiedlich hohen Anschaffungskosten reichen dabei von reinen Lizenzkosten für die entsprechende Software bis hin zu Kosten für Investitionen in Spezialhardware und sollten in einer entsprechenden Kosten-/Nutzen-Analyse berücksichtigt werden. ■

DIGITALEN ZWILLING GENERIEREN

■ Neben den unterschiedlichen Varianten zur Kopplung von SPS und 3D-Simulationsumgebung gibt es auch unterschiedliche Herangehensweisen für die Erstellung des digitalen Zwillings der Maschine oder Anlage. Diese Herangehensweisen lassen sich im Wesentlichen in zwei Klassen einteilen.

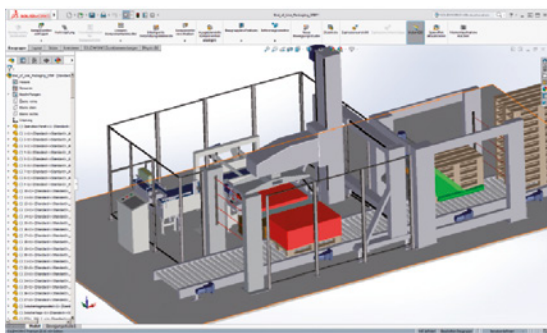
■ In der ersten Klasse werden Bibliotheken von parametrierbaren Standardkomponenten genutzt, aus denen die Anlage nach dem Baukastenprinzip zusammengesetzt wird (wie z. B. bei den Softwareprodukten VisualComponents, Exporio). Beispielsweise werden bei der Generierung des Modells einer Logistiklösung einzelne Förderband- oder Rollgangelemente ausgewählt, aneinandergereiht und dimensioniert, mit der gewünschten Sensorik, wie z. B. Barcode-Leser ausgestattet und zusätzliche Aktuatoren für die Durchführung einer Sortieraufgabe integriert. Jede Komponente verfügt dabei über vordefinierte Funktionalitäten, für dessen Ansteuerung oder Abfrage die entsprechenden Ein-/Ausgangssignale vorgesehen sind.

■ In der zweiten Klasse setzt man direkt auf der CAD-Konstruktion auf, wobei hier unterschiedliche Softwarelösungen existieren.

- CAD-Konstruktionssoftware, die eine entsprechende 3D-Simulationsumgebung inkludieren und die benötigten SPS-Kopplungsmöglichkeiten bereitstellen (z. B. Mechatronics Concept Designer).
- Modellierungs- und Simulationssoftware mit Funktionen für den CAD-Datenimport und die SPS-Kopplung (z. B. SimulationX, Matlab/Simulink).
- VIBN-Software, die, basierend auf dem Import der CAD-Daten, den digitalen Zwilling in einer eigenen 3D-Simulationsumgebung generiert, wobei der Benutzer hier kein Spezialwissen hinsichtlich CAD-Konstruktion oder Modellbildung benötigt. (z. B. IndustrialPhysics).

Ein wesentlicher Arbeitsschritt bei der Generierung des digitalen Zwillings ist die Kinematisierung des 3D-Modells. ►

CAD-Konstruktionssoftware



VIBN-Software

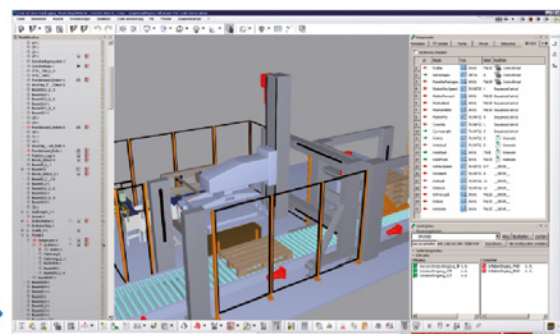


Abbildung 3: Bidirektionale Kopplung zwischen CAD-Daten (Strukturbaum, linkes Bild) und 3D-Simulationsumgebung (Mechatronikbaum, rechtes Bild).

Darunter versteht man die Festlegung der Freiheitsgrade und Funktionalitäten einzelner Komponenten, sowie die Definition von Sensor- und Aktuatoreigenschaften, wodurch sich die für die Ablaufsteuerung verfügbaren Ein-/Ausgangssignale ergeben.

VIBN-Softwarelösungen bieten hier einfache und schnelle Möglichkeiten, indem sie dem Benutzer eine Auswahl an vordefinierten Standardfunktionalitäten zur Verfügung stellen. Durch den Einsatz von Lösungen aus dem Bereich Modellierung und Simulation kann der Benutzer seine eigenen Funktionalitäten erzeugen und individuelles Sensor- und Aktuatorver-

halten realisieren, was im Allgemeinen jedoch aufwendiger ist als die Nutzung vordefinierter Möglichkeiten. Bei der Nutzung von entsprechender CAD-Konstruktionssoftware hat man hingegen den Vorteil, dass kein weiteres Softwareprodukt angeschafft werden muss und kein Datenaustausch mit diesem notwendig ist.

Welche der Herangehensweisen und Softwarelösungen im jeweiligen Anwendungsfall die geeignetere ist, hängt von den Anforderungen an die VIBN, dem Know-how der involvierten Personen und der gewünschten Vorgehensweise ab. ■

VORGEHENSWEISEN BEI DER VIRTUELLEN INBETRIEBNAHME

■ Ist der digitale Zwilling der Maschine oder Anlage für die VIBN verfügbar, kann mit der Programmierung der Ablaufsteuerung begonnen werden.

Im ersten Schritt müssen hierfür die zu berücksichtigenden Ein-/Ausgabesignale der Sensoren und Aktoren in der entsprechenden Programmierungsumgebung zugänglich gemacht werden. Erfolgt die Programmierung direkt in der 3D-Simulationsumgebung können die Signale direkt angesprochen und ausgewertet werden, und je nach verwendeter Softwarelösung entweder über entsprechende dialoggeführte, graphische oder skriptbasierte Eingabemöglichkeiten Ablaufsteuerungen implementiert werden.

Wird die Ablaufsteuerung auf einer mit der Simulationsumgebung gekoppelten SPS (SIL oder HIL) realisiert, muss die zugehörige Datenschnittstelle konfiguriert werden. Meistens können diese Schnittstellenkonfigurationen herstellerspezifisch automatisch generiert

und in der Programmierungsumgebung der SPS importiert werden, sodass für die Einrichtung der Schnittstelle auf SPS-Seite kein erwähnenswerter Mehraufwand entsteht.

Möchte man das Potenzial der VIBN umfassend nutzen, so zeigt sich, dass die Art und Weise der Integration der VIBN in den Entwicklungsprozess wesentlich ist. Softwarelösungen, die auf den Import von CAD-Daten aufsetzen und zusätzlich eine bidirektionale Kopplung zwischen dem CAD-Strukturbaum und dem auf dem Import basierendem VIBN-Mechatronikbaum erlauben, siehe Abbildung 3, bieten hier vielversprechende Möglichkeiten.

Die bidirektionale Kopplung erlaubt eine parallele Bearbeitung von CAD-Konstruktion und VIBN-Aufgaben. Dabei bewirken Änderungen an der CAD-Konstruktion eine automatische Aktualisierung des digitalen Zwillings für die VIBN, während zugewiesene Funktionalitäten ►

litäten direkt mit dem CAD-Objekt verknüpft werden. Dadurch kann bereits vor Fertigstellung der Konstruktion mit der VIBN begonnen werden, ohne Gefahr zu laufen, bei eventuell nachfolgenden Konstruktionsänderungen mit der Generierung des digitalen Zwillings der Maschine oder Anlage wieder von vorne beginnen zu müssen.

Die Möglichkeit der zeitlich überlappenden Entwicklung von Konstruktion und Automatisierungssoftware im Rahmen der VIBN erfordert ein sehr enges Zusammenspiel der unterschiedlichen Fachbereiche und eventuell auch ein Umdenken im bisher seriell durchgeführten Entwicklungsprozess. In welcher Ausprägung die im Rahmen der VIBN verfügbaren Möglichkeiten verwendet werden können, um damit einen entsprechenden wirtschaftlichen Nutzen zu erzielen, hängt von den beteiligten Personen und deren fachbereichsübergreifenden Wissen sowie der Komplexität der Maschinen und Anlagen ab.

Eine Vorgehensweise, die z. B. im Maschinenbau eine effiziente Nutzung von VIBN erlaubt, beruht darauf, in unterschiedlichen Entwicklungsphasen unterschiedliche VIBN-Methoden einzusetzen.

So führt der Konstrukteur bereits in der Designphase seine Ablaufstudien mit den in der 3D-Simulationsumgebung zur Verfügung stehenden Methoden durch, um sein Design zu überprüfen. Er benötigt hierfür kein Wissen bzgl. der Programmierung von SPSen und kann mit der Übergabe der Konstruktion an den Automatisierungstechniker auch ein überprüftes Ablaufkonzept vorweisen.

Der Automatisierungstechniker hingegen erhält nicht nur das Maschinen- oder Anlagendesign, sondern auch einen digitalen Zwilling, den er nach der Kopplung mit der Automatisierungshardware zur Überprüfung der von ihm implementierten Software verwenden kann.

Prinzipiell ist bei dieser Vorgehensweise sowohl eine rein sequentielle Bearbeitung von Konstruktion und Automatisierung wie auch eine überlappende möglich. Wie bei allen parallellaufenden Prozessen muss bei letzterem jedoch zusätzlich der Datenzugriff entsprechend geregelt sein, um Inkonsistenzen zu verhindern. ■

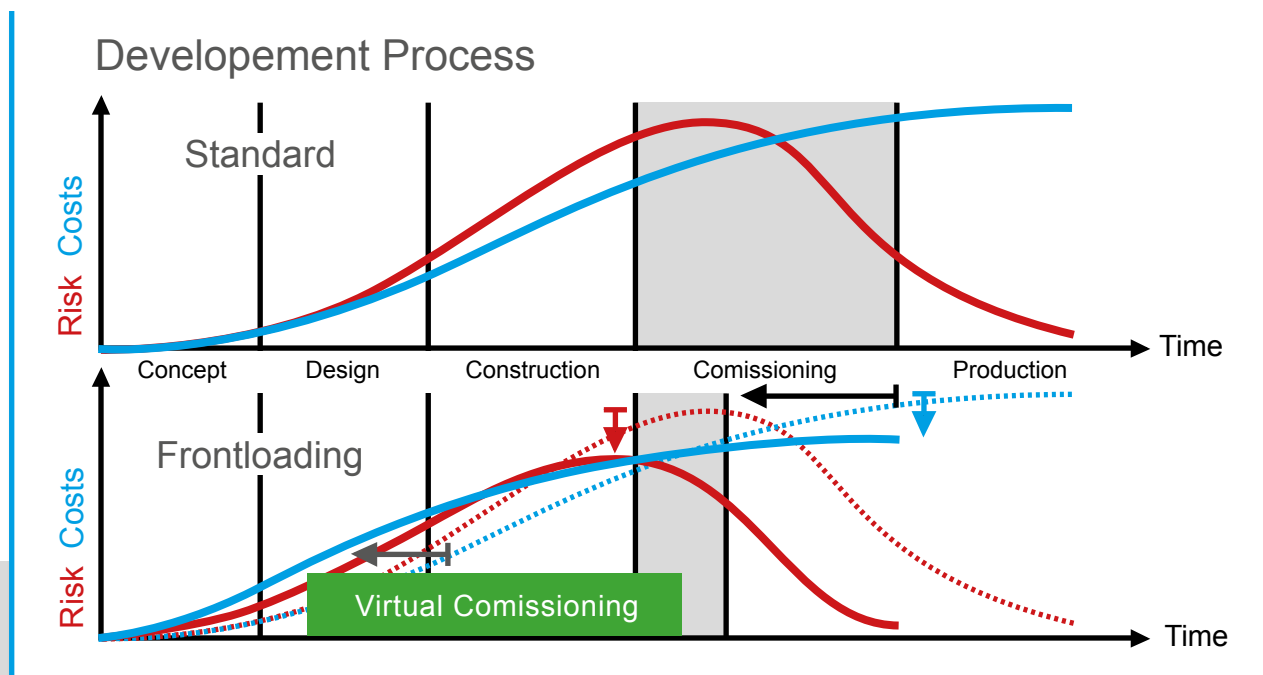


Abbildung 4: Vergleich des Entwicklungsprozesses bzgl. Kosten, Risiko und Zeit mit und ohne virtueller Inbetriebnahme.

NUTZEN UND AUFWAND

■ Mit der VIBN kann der Zeitaufwand für die tatsächliche Inbetriebnahme verkürzt werden, da Fehler vorab erkannt und behoben werden können.

Für eine wirtschaftliche Bewertung der VIBN muss aber auch der Zusatzaufwand für die Durchführung der VIBN berücksichtigt werden. Dieser liegt in erster Linie in der Generierung des digitalen Zwillings sowie seiner Aktualisierung nach Änderungen in der Konstruktion, Sensorik und Aktuatorik. Wird im Rahmen der VIBN die Ablaufsteuerung mittels HIL oder zumindest SIL realisiert entsteht bei der Softwareentwicklung kein wesentlicher Zusatzaufwand.

Abbildung 4 vergleicht den Entwicklungsprozess einer Maschine oder Anlage mit und ohne VIBN. Durch die mittels VIBN mögliche zeitliche Vorwegnahme bestimmter Entwicklungsaufgaben („Frontloading“) und den für die VIBN notwendigen Zusatzaufwand entstehen in frühen Phasen höhere Kosten. Gleichzeitig sind aber bestimmte Teilergebnisse und Informationen früher verfügbar, wodurch notwendige Anpassungen an der Maschine oder Anlage früher sichtbar werden. Um die Vorteile der VIBN ausschöpfen zu können, ist eine möglichst effiziente Vorgehensweise Voraussetzung. Hierfür müssen die beteiligten Entwicklungsbereiche bestmöglich abgestimmt sein, um den richtigen Grad der Parallelisierung von Aufgaben zu finden, ohne dabei im Fall von notwendigen Änderungen (z. B. an der Konstruktion) Flexibilität einzubüßen und bestimmte Aufgaben wiederholen zu müssen.

Als Grundlage dafür müssen die Ziele der VIBN auf die zu entwickelnde Maschine oder Anlage abgestimmt und der Entwicklungsprozess sowie die Struktur der beteiligten Unternehmensbereiche berücksichtigt werden. Nur so kann der Einsatz der VIBN zu einer Reduktion von Risiko, Projektdauer und Gesamtkosten beitragen.

Neben dem direkten Nutzen der VIBN im Entwicklungsprojekt, existieren weitere, über das Kernprojekt hinausreichende Anwendungen im Rahmen der VIBN-Möglichkeiten. Mit der Verfügbarkeit des digitalen Zwillings der Maschine oder Anlage hat man zugleich eine Umgebung für Bedienerschulungen. In der sicheren virtuellen Simulationsumgebung kann das Personal unabhängig von der Verfügbarkeit der realen Maschine oder Anlage mit der Bedienung vertraut gemacht werden. Adaptionen oder Softwareanpassungen an einer sich bereits in Betrieb befindenden Maschine oder Anlage können vorab geprüft werden, wodurch wiederum Risiko und Stillstandzeiten reduziert werden.

Weiterführende Konzepte nutzen den digitalen Zwilling parallel zu der im Betrieb stehenden Maschine oder Anlage, um – basierend auf einem Online-Vergleich von gemessenen Signalen mit simulierten Signalen – Aussagen über den aktuellen Zustand der Maschine oder Anlage treffen zu können.

Darauf aufbauend lassen sich sowohl situationsbedingte Systemmeldungen für den Benutzer wie auch zusätzliche Informationen für die nächsten Wartungsarbeiten ableiten (Stichwort „Predictive Maintenance“).

Das 3D-Modell des digitalen Zwillings lässt sich direkt für „Virtual Reality“ (VR) oder „Augmented Reality“ (AR) Anwendungen nutzen, womit ein Grundbaustein für diese als zukunftssträchtig geltenden Technologien ohne Mehraufwand zur Verfügung steht. ■

FAZIT

■ Die VIBN bietet ein hohes Potenzial für die Reduktion von Risiko, Inbetriebnahmedauer und Kosten und schafft Spielraum zur Optimierung der Maschine oder Anlage vorab. Der Erfolg der VIBN hängt dabei wesentlich von ihrer Integration im Entwicklungsprozess ab. Je nach Ausprägung der VIBN ist dabei eine eventuelle Anpassung des Entwicklungsprozesses notwendig, um ein Parallelisieren von bestimmten Aufgaben zu ermöglichen.

Mit der richtigen Vorgehensweise kann die VIBN einen wesentlichen Beitrag zur Sicherstellung des Projekterfolges beitragen und bietet zudem Anknüpfungspunkte für zusätzliche Services. ■

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- VDI/VDE 3693 Blatt 1 Virtuelle Inbetriebnahme - Modellarten und Glossar
- VDI/VDE 3693 Blatt 2 Virtuelle Inbetriebnahme - Einführung der virtuellen Inbetriebnahme in Unternehmen
- Georg Wunsch, *Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme*, Dissertation, Technische Universität München, 2007

BEISPIELE SOFTWARELÖSUNGEN

- Siemens, NX Mechatronic Concept Designer
- Xcelgo, Experior
- Machineering, IndustrialPhysics
- ESI ITI, SimulationX
- VisualComponents
- Mathworks, Matlab/Simulink
- ISG Industrielle Steuerungstechnik, ISG Virtuos
- ABB, RobotStudio

KONTAKT

Dr. Johannes Schröck
Team Leader Control
+43 (0)732 / 2468 – 6001
johannes.schroeck@lcm.at

