

# Best Practices zur Virtuellen Inbetriebnahme



in Kooperation mit



Forum Industrie 4.0

## Einführung

Die Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) von Komponenten, Maschinen und Anlagen gewinnt durch die fortschreitende Digitalisierung für die Industrie immer weiter an Bedeutung. Für viele produzierende Unternehmen sind das Konzept und die Umsetzung der VIBN sowie die daraus resultierenden Potenziale noch nicht greifbar.

In diesem Dokument werden konkrete Beispiele für Umsetzungen der VIBN in der Industrie anhand von Best Practices beschrieben. Diese sollen sowohl der Inspiration für die Umsetzung im eigenen Unternehmen als auch der Motivation dienen, bestehende Hemmnisse abzulegen und sich dem strategischen Projekt der „Einführung der VIBN“ anzunehmen. Die Best Practices besitzen unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte.

## Inhalt

- 02** Vorgehen zur Auswahl eines VIBN-Pilotprojekts und -Tools
- 04** VIBN zur Planung und Realisierung komplexer Logistiksysteme
- 06** VIBN in der Greenfieldplanung von agilen Produktionssystemen
- 10** Integration von neuen Modulen in einem Brownfield-Produktionssystem
- 12** Ganzheitlicher Einsatz von VIBN-Simulationsplattformen
- 15** Durchlaufzeitverkürzung durch integrierte VIBN-Prozesse
- 17** Standortübergreifende Zusammenarbeit bei der virtuellen Inbetriebnahme
- 18** Steigerung der VIBN-Effizienz: Integration von CAD-Daten über ein Produktdatenmanagement System
- 20** Steigerung der VIBN-Effizienz: Automatisierte Bereitstellung von Verhaltensmodellen
- 23** Aus- und Weiterbildung im Bereich der VIBN mittels virtueller Laborumgebung
- 26** Projektpartner / Impressum

## Vorgehen zur Auswahl eines VIBN-Pilotprojekts und -Tools

Die Auswahl eines geeigneten VIBN-Pilotprojekts, sowie eines leistungsfähigen VIBN-Tools, die jeweils auf die unternehmensspezifischen Anforderungen ausgerichtet sein müssen, sind wichtige Bestandteile der ersten Phasen in der Einführung der VIBN. Bei der Auswahl sind der Einsatzzweck der VIBN und die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen erfolgskritisch. So sind die betreffenden Abteilungen in die Auswahl einzubeziehen und die Anforderungen in Bezug auf Abläufe und die Software-Landschaft zu prüfen. Dieses Best Practice zeigt ein Vorgehen für die Auswahl von VIBN-Pilotprojekt und -Tool auf.

### Auswahl des VIBN-Pilotprojekts

Das Pilotprojekt dient als „Proof of Concept“ zur Evaluierung des Nutzens der VIBN für das Unternehmen. Daher wird der Rahmen für das Pilotprojekt so definiert, dass der angestrebte Nutzen evaluiert werden kann. In diesem Projekt stehen die Optimierung von Steuerungssoftware und die Automatisierung von Software-Tests für Komponenten von Serienanlagen im Fokus. Zur Durchführung des Pilotprojekts wird ein interdisziplinäres Projektteam definiert, das die Abteilungen und Mitarbeiter einbezieht, die die VIBN später durchführen bzw. direkt durch die VIBN beeinflusst werden.

Dazu zählen Beteiligte aus den Bereichen M- & E-Konstruktion, IT, PLC- und Robotik-Programmierung, Service und Vertrieb sowie der Geschäftsführung.

Das Pilotprojekt wird anhand einer Komponente eines aktuellen Kunden- und Entwicklungsprojekts durchgeführt. Dadurch wird die Realitäts-treue der Evaluierung sichergestellt und die Blindleistung der Durchführung eines fiktiven Projekts vermieden. Es wird allerdings kein kritisches Projekt gewählt, da dies keine ausführliche Evaluierung der VIBN zulässt. Dennoch wird aufgrund vorgegebener Fristen eines realen Projekts ein zeitlicher Puffer eingeplant bzw. parallel eine klassische Planung der Komponente durchgeführt, um das Projekt nicht zu gefährden. Die betrachtete Komponente ist repräsentativ für das gesamte Produktspektrum und weist folglich charakteristische Eigenschaften auf. Die Komponente wird so gewählt, dass sie eine Herausforderung für die VIBN aufweist. Es wird folglich erfahrungsbasiert eine Komponente gewählt, die in der regulären Inbetriebnahme zu Problemen geführt hat bzw. bei welcher Herausforderungen zu erwarten sind. Dadurch werden die Vorteile der VIBN in Bezug auf erwartete sowie unerwartete Problemstellungen eruiert. Dennoch wird keine gesamte Maschine gewählt, um die Komplexität zu begrenzen.

### Auswahl VIBN-Tool

Die Auswahl des VIBN-Tools ist in ein fünfstufiges Vorgehen unterteilt (s. Abbildung 1). Im ersten Schritt wird eine Anforderungsliste durch das Projektteam definiert. Dazu werden aus der geplanten Verwendung und aus Sicht der Anwender die erforderlichen Funktionalitäten des Tools abgeleitet. Weiterhin werden Kompatibilitätsanforderungen der bestehenden Tool-Chain, z. B. Konstruktion, Kinematisierung und Steuerung, sowie der Zulieferkette zur Sicherstellung des Datenaustauschs mitberücksichtigt. Je nach Bedeutung werden die einzelnen Anforderungen gewichtet. Im zweiten Schritt erfolgt die Recherche bestehender VIBN-Tools. Hierbei

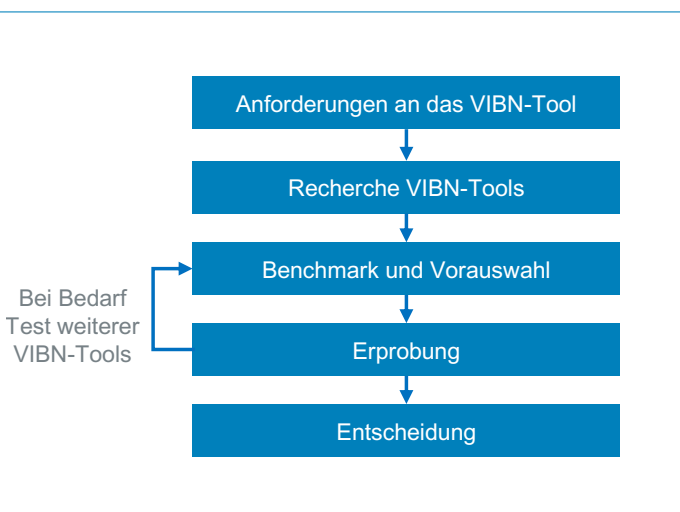


Abbildung 1: Vorgehen zur Auswahl des VIBN-Tools

wird insbesondere auf Messeauftritte und Internetpräsenzen der Softwarehersteller zurückgegriffen. Im dritten Schritt wird ein Benchmark der identifizierten VIBN-Tools auf Basis der gewichteten Anforderungsliste durchgeführt (s. Abbildung 2) und das VIBN-Tool mit der höchsten Eignung ausgewählt. Ein umfassender Test mehrerer VIBN-Tools ist mit einem hohen Aufwand verbunden. Daher wird durch die getroffene Vorauswahl der Aufwand reduziert und der Fokus auf die detaillierte Analyse eines VIBN-Tools gelegt. Im vierten Schritt wird das ausgewählte VIBN-Tool konzeptuell erprobt und die Integration in die Tool-Chain getestet. Außerdem wird der Planungsablauf durch die beteiligten Mitarbeiter anhand eines Testszenarios erprobt. Sofern in dieser Detailbetrachtung Unzulänglichkeiten identifiziert werden, wird das VIBN-Tool verworfen und das nächstbeste geeignete VIBN-Tool aus dem Benchmark detaillierter evaluiert. Im fünften Schritt wird das konzeptuell erprobte VIBN-Tool im Pilotprojekt eingesetzt und die Tool-Chain sowie der Ablauf der VIBN entsprechend ausgestaltet.

#### Vorteile einer strukturierten Auswahl von VIBN-Pilotprojekt und -Tool

- Frühes und intensives Zusammenarbeiten der einzelnen Engineering- und Unternehmensbereiche im interdisziplinären Projektteam stellt die Berücksichtigung der Anforderungen aller Beteiligten bei der Auswahl von VIBN-Pilotprojekt und -Tool sicher.
- Die Auswahl einer repräsentativen Komponente für das VIBN-Pilotprojekt ermöglicht eine hohe Praxisorientierung bei einer Reduzierung des Aufwands.
- Die strukturierte Auswahl des VIBN-Tools auf Basis definierter Anforderungen aller beteiligten Abteilungen stellt die zielorientierte Auswahl eines IT-Tools im Kontext des Gesamtunternehmens sicher
- Durch den Benchmark wird ein breiter Marktüberblick an IT-Tools gewonnen.
- Die Vorauswahl und konzeptuelle Erprobung eines VIBN-Tools stellen einen tiefen Einblick in die Funktionalität und Interoperabilität sicher.
- Eine fundierte Bewertung hinsichtlich der gestellten Anforderungen gewährleistet die Auswahl eines möglichst optimalen IT-Tools.

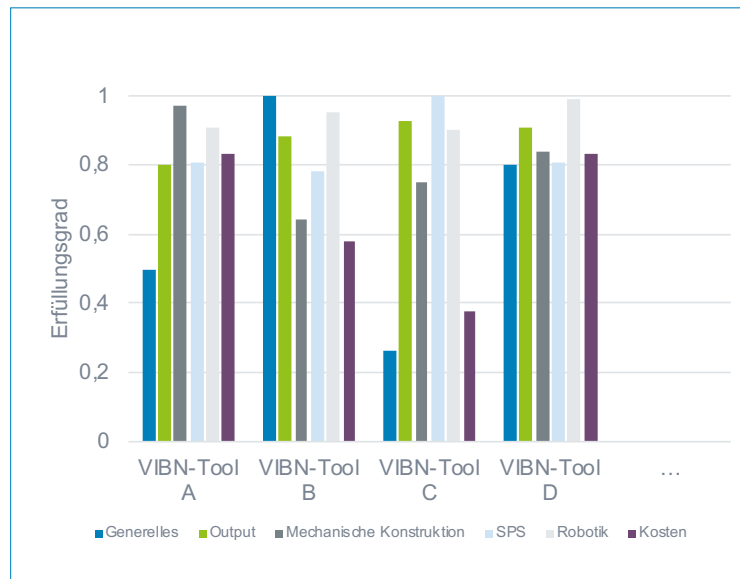


Abbildung 2: Benchmark von VIBN-Tools

#### Lessons Learned aus Industrieunternehmen

- Die Freistellung des Projektteams zur Auswahl von VIBN-Pilotprojekt und -Tools schafft erforderliche Kapazitäten und hebt die Priorisierung der VIBN für das Unternehmen hervor.
- Externes Consulting und die Einbindung von Softwareherstellern unterstützt den Weitblick.
- Die Berücksichtigung der Anforderungen von Unternehmen der Zulieferkette bei der Softwareauswahl hat sich bewährt, um die Interoperabilität sicherzustellen.
- Besonders in großen Unternehmen ist es schwierig, alle Aspekte und alle potenziellen Anwender der VIBN im Vorfeld der Tool-Auswahl zu identifizieren. Um späteren Konflikten vorzubeugen, ist dieser Schritt daher besonders sorgfältig durchzuführen.
- Eine einmal getroffene Entscheidung für ein VIBN-Tool ist später, wenn die komplette Infrastruktur dafür aufgebaut ist, nur mit großem Aufwand zu korrigieren, sodass die Entscheidung sorgfältig und mit dem nötigen Weitblick zu treffen ist.

**Erstellung des Best Practice mit freundlicher Unterstützung von:**  
 HAHN Automation GmbH  
 Jetter AG  
 TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

## VIBN zur Planung und Realisierung komplexer Logistiksysteme

Innerbetriebliche Logistiksysteme sind hochkomplexe Materialflusssysteme mit dem Ziel, einen optimalen Materialfluss in Produktions- und Lagersystemen zu realisieren (s. Abbildung 3). Diese bestehen häufig aus flexibel einsetzbaren, modularen Lösungen, zu denen sowohl Förder- und Lagertechnik, mobile Robotersysteme als auch die dazugehörigen Softwaresysteme zählen. Die Kombination unterschiedlichster Module mit variierenden Herstellern zu einem hochkomplexen Gesamtsystem weist besondere Herausforderungen in Bezug auf die Planung, Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und Inbetriebnahme auf. Dieses Best Practice zeigt wie die VIBN es ermöglicht, die Planung und Realisierung dieser Logistiksysteme durch iterative Tests der Steuerungssoftware auf unterschiedlichen Hierarchieebenen maßgeblich zu unterstützen.

### Vorgehen bei der VIBN komplexer Logistiksysteme

Ein innerbetriebliches Logistiksystem besteht aus verschiedenen Steuerungsschichten: der Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), dem Materialflusssystem (MFS) und dem Lagerverwaltungssystem (LVS). Diese werden separat entwickelt und aufeinander abgestimmt. Die VIBN ermöglicht es, diese Steuerungsschichten bereits in der Entwicklungsphase der Steuerungssoftware sowie der überlagerten Lager- und Materialflusssysteme stufenweise zu testen und besser aufeinander abzustimmen (s. Abbildung 4, oberer Teil). Jede Steuerungsschicht wird gegen ein eigenes virtuelles 3D-Simulationsmodell des Logistiksystems getestet und die Funktionsfähigkeit der Steuerung sichergestellt (s. Abbildung 4, unterer Teil). Bei den Integrationstests wird intern zwischen den Steuerungsebenen und extern mit kundenseitigem



Abbildung 3: Automatisches Kleinteilelager als Beispiel eines komplexen Logistiksystems

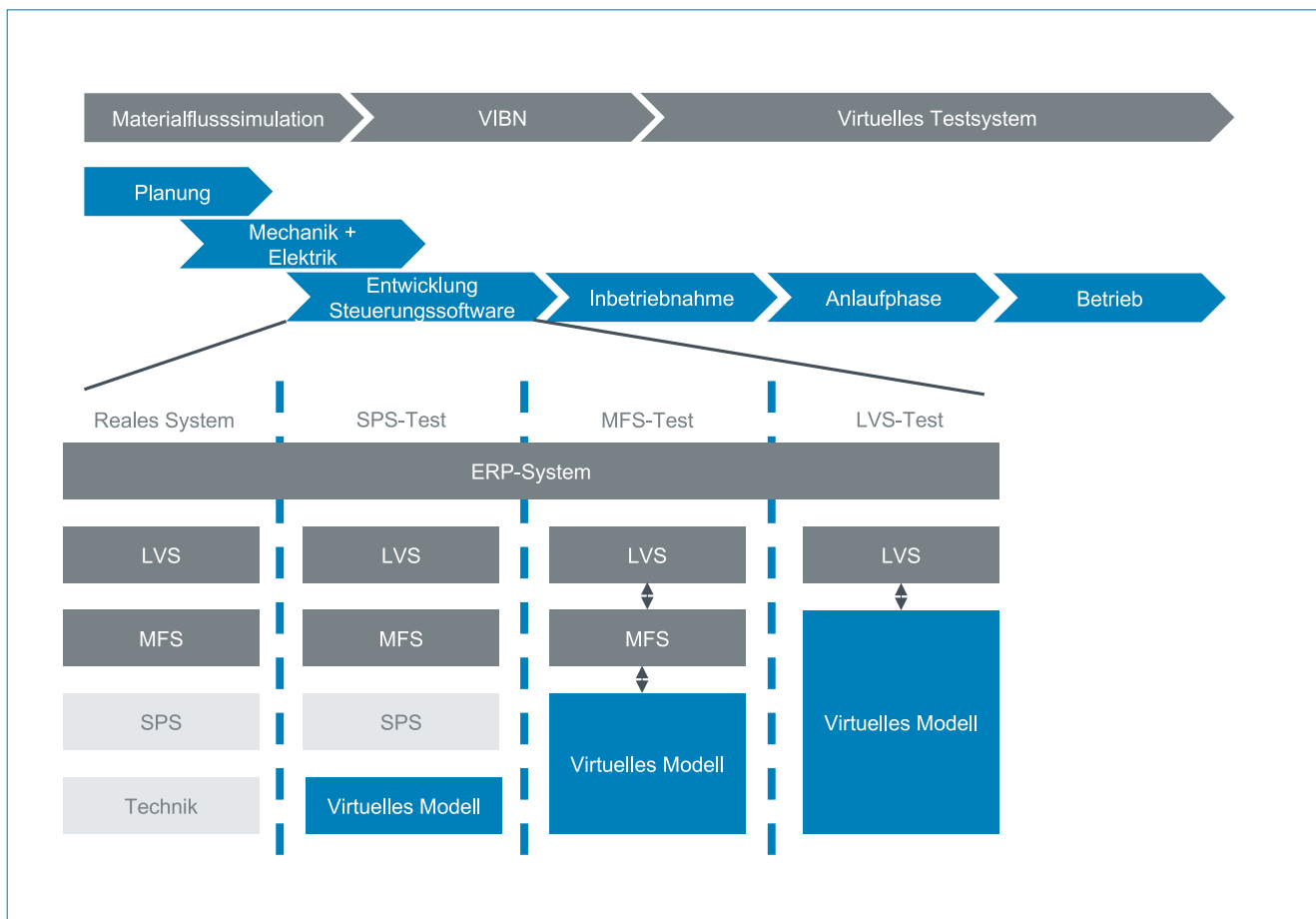


Abbildung 4: Einsatz der VIBN bei der Entwicklung der Steuerungssoftware

Host/Enterprise Resource Planning (ERP)-System getestet, die unterste Schicht ist dabei immer ein virtuelles Modell. Für jeden dieser Tests werden eine angepasste Testlogik und Schnittstelle eingesetzt. So erfolgt schrittweise die Durchführung der virtuellen Integrationstests.

Durch dieses Vorgehen bei der VIBN werden die Steigerung der Softwarequalität der SPS, des LVS und des MFS sowie die Reduzierung der Inbetriebnahmezeit an der realen Anlage erreicht. Fehlerquellen werden so bereits früh im Entwicklungsprozess erkannt und behoben. Zudem werden bereits am virtuellen Modell Steuer- und Regelstrategien getestet und optimiert, bevor das reale System existiert. Nach Go-Live wird das virtuelle Modell weiterhin als Testsystem für Releasewechsel oder Änderungen an den Betriebsstrategien ohne Eingriff ins reale System genutzt.

Für die Durchführung der VIBN ist die Einbindung der relevanten Abteilungen erforderlich. In diesem Anwendungsfall werden die Simulationsabteilung, SPS-Entwickler sowie LVS- und MFS-Entwickler einbezogen, um das Simulationsmodell zu erstellen und die Integrationstests durchzuführen. Mittels eines Simulationswerkzeugs (Emulate3D) wird das Simulationsmodell des Logistiksystems abgebildet (s. Abbildung 5). Die Tests der Steuerungssoftware erfolgen über einen Virtual Controller (PLCSim Advanced) sowie eine geeignete Hardwareschnittstelle (Siemens Simit UNIT).

#### Realisierte Nutzenpotenziale der VIBN im Kontext komplexer Logistiksysteme

- Frühzeitige Identifikation und Reduzierung von Fehlerquellen durch virtuelle Integrationstests vor der realen Inbetriebnahme.
- Verkürzung der realen Inbetriebnahme und Anlaufphase vor Ort um bis zu 20 %.

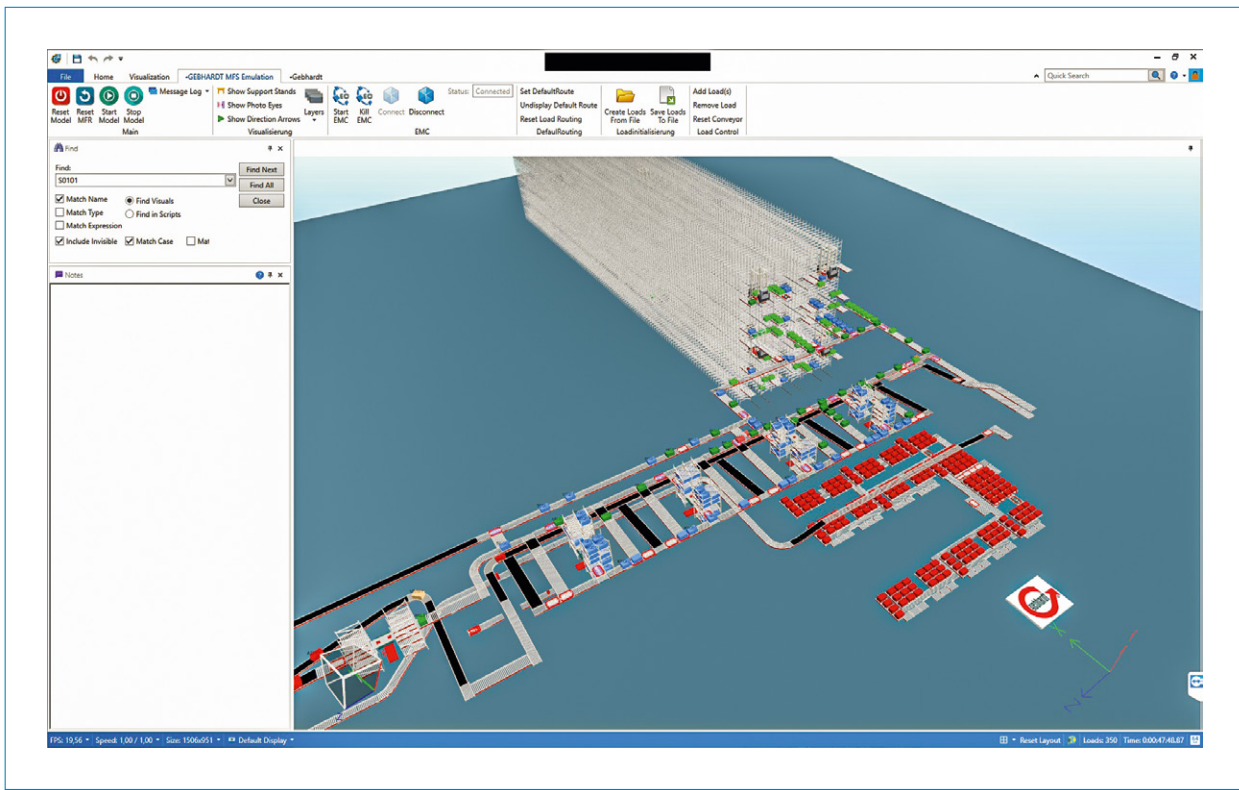


Abbildung 5: VIBN Modell eines automatischen Kleinteilelagers

- Steigerung der Softwarequalität durch umfassende virtuelle Integrationstests und die Evaluierung unterschiedlicher Steuerungsstrategien.
- Der Einsatz der VIBN für Releasewechsel oder Änderungen der Lager- und Materialflussstrategien im laufenden Betrieb minimiert Stillstandszeiten und das Risiko für Anlagenausfälle.
- Frühe und enge Einbindung der beteiligten Entwickler bei der Modellerstellung stellt die Qualität der definierten Schnittstellen und Lager- und Materialflussprozesse sicher.
- Virtuelle Integrationstests führen zu früherem Austausch zwischen den Entwicklern der einzelnen Steuerungsebenen.
- Nächste Schritte zur Etablierung und Effizienzsteigerung der VIBN:
  - Einbindung der Konstruktion und Elektroplanung in die VIBN.
  - Definition spezifischer Quality-Gates zwischen den einzelnen VIBN-Schritten, um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Projekten zu schaffen.
  - Einbinden von externen Hardware- und Softwarelieferanten.

**Lessons Learned aus der industriellen Praxis**

- Schrittweises Vorgehen zur Analyse der komplexen Systeme anhand der einzelnen Steuerungsebenen hat sich in der Praxis bewährt.
  - 1. Testen der SPS-Logik für einzelne Maschinen und Anlagen des Logistiksystems.
  - 2. Testen der Materialflussstrategien des MFS im Zusammenspiel mehrerer Maschinen und Anlagen.
  - 3. Testen der Lagerstrategien des LVS für das gesamte Logistiksystem.

**Erstellung des Best Practice mit freundlicher Unterstützung von: GEBHARDT Fördertechnik GmbH**

## VIBN in der Greenfieldplanung von agilen Produktionssystemen

Agile Produktionssysteme (s. Abbildung 6) stellen aufgrund ihrer Komplexität eine besondere Herausforderung für die Planung und Inbetriebnahme dar. Diese bestehen bspw. aus Fertigungs- und Montagezellen, die mittels Fahrzeugen, Rollenbändern oder Handhabungsgeräten verkettet sind. Die besondere Herausforderung bei der Inbetriebnahme neu entworfener Anlagen (Greenfield) liegt im Zusammenspiel der einzelnen Anlagen, die i. d. R. von unterschiedlichen Lieferanten stammen. Der Systemintegrator trägt die Verantwortung für das gesamte Produktionssystem. Der Aufbau sowie die Endabnahme erfolgen in klassisch abgewickelten Projekten erst beim Kunden. Diese Projekte benötigen eine Durchlaufzeit von 10 bis 14 Monaten beim Lieferanten und weitere 3 bis 6 Monate auf der Baustelle beim Kunden. Dieses Best Practice gibt einen Einblick in die Unterstützung der Systemintegratoren bei Planung und Durchführung dieser herausfordernden Projekte durch die VIBN und die daraus resultierenden Wettbewerbsvorteile.

### Details zur Umsetzung der VIBN

Entsprechend den Teilsystemen Produkt, Prozess und Betriebsmittel (hier die Anlage) eines Produktionssystems, werden virtuelle Modelle (Digitale Zwillinge) eingesetzt. Die VIBN (z. B. mittels NX CAM/ISV) mit dem Digitalen Produkt- und Digitalen Prozess-Zwilling ermöglicht die Realisierung eines weg- und zeitoptimierten sowie kollisionsfreien Bearbeitungsprogramms (s. Abbildung 7). Dazu wird ein vereinfachtes Modell des Bearbeitungsraumes der Maschine mit Zerspanungswerkzeugen, Spannvorrichtung und Werkstück erstellt. Die Kinematik und die Parameter entsprechen der realen Maschine und ermöglichen eine Taktzeitoptimierung sowie Kollisionserkennung. Aufbauend auf den virtuellen Modellen und den Digitalen Anlagen-Zwillingen einzelner Anlagen erfolgt mittels der VIBN die Simulation und Optimierung des gesamten komplexen Produktionssystems und die Projektplanung und -abwicklung wird maßgeblich unterstützt.

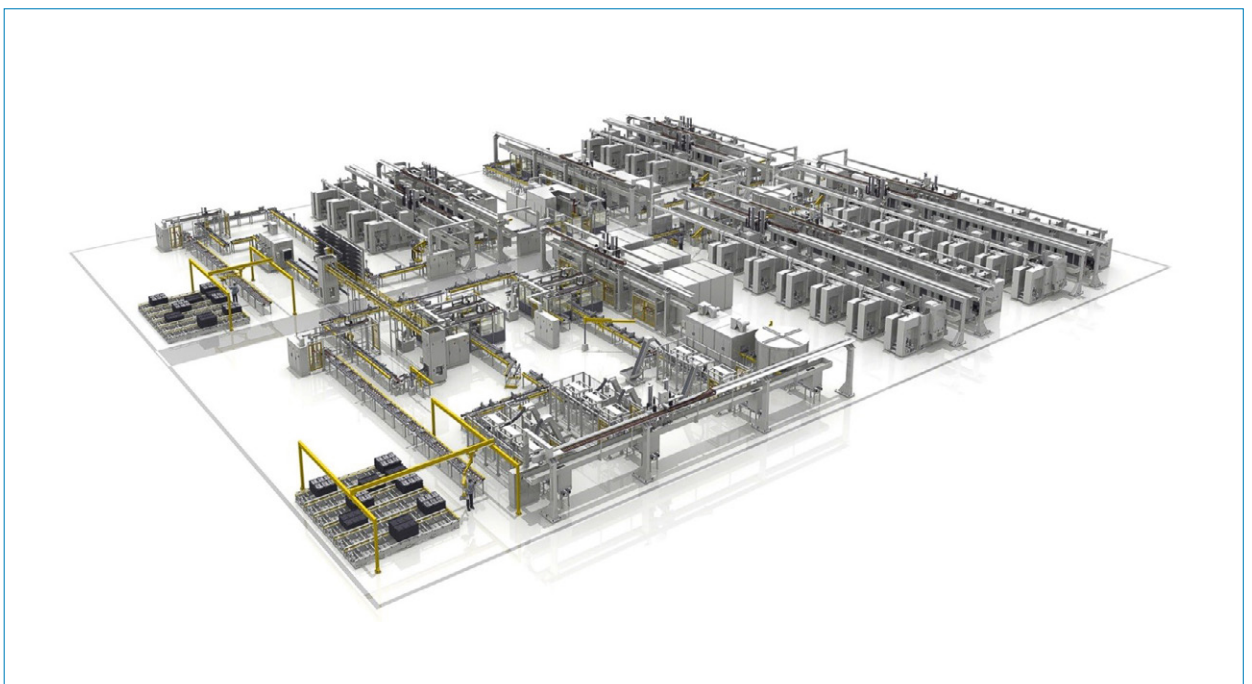


Abbildung 6: Agiles Produktionssystem für Zylinder-Kurbelgehäuse mit einer Jahresproduktion von 300.000 Bauteilen



Zur effektiven Umsetzung der VIBN wurde eine Anpassung der Abläufe hin zur Parallelisierung von Engineeringprozessen vorgenommen.

Wesentliche Aspekte sind:

- Frühzeitige Modellerstellung während der Konstruktionsphase
- Einbindung der unterschiedlichen Entwicklungs- und Konstruktionsbereiche
- Einbindung von Partnern (z. B. Anlagelieferanten) in die Modellerstellung und VIBN
- Auswahl geeigneter, möglichst standardisierter, Schnittstellen
- Festlegung des XiL-Systems (Hardware- oder Software-in-the-Loop (s. Tabelle 1)
- Einbindung des Betreibers zur Software-Vorabnahme am virtuellen Modell

Für die Modellerstellung wurde eine zusätzliche Stelle geschaffen, welche das Testlabor der VIBN leitet. Da die Inbetriebnahme zuvor bereits in der Verantwortung der Konstruktion lag, werden für die VIBN die klassischen Inbetriebnehmer mit ihrem spezifischen Prozesswissen eingesetzt. Es wird angestrebt, einen möglichst großen Anteil der Tests auf Basis des virtuellen Modells durchzuführen. Die Erstellung eines Modells für eine komplexe CNC-Maschine benötigt ca. drei Wochen, die Anpassung eines vorhandenen Modells erfolgt in ca. 3 bis 5 Arbeitstagen.

### Vorteile der VIBN für die Abwicklung von Produktionssystemen

Je früher ein Modell für den Kundenauftrag entsteht und je höher die Genauigkeit des Modells ist, desto größer sind die positiven Effekte einer VIBN. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass die VIBN die reale Inbetriebnahme nicht vollständig ersetzen kann. Gewisse technische Zusammenhänge können nicht vollumfänglich simuliert werden, z. B. Sicherheitsfunktionen (Lieferanten- oder Herstellererklärung), Antriebe und Aggregate, Schnittstellen-Tests oder Abtragsimulationen.

Durch die VIBN wird noch während der Konstruktionsphase ein nicht unerheblicher Anteil der Konstruktions- und Softwarefehler abgefangen und der Anpassungsaufwand deutlich reduziert. Erfahrungswerte zum Aufwand der Fehlerbehebung in Bezug auf den Zeitpunkt der Fehleridentifikation lauten wie folgt: 1 Stunde in der Konstruktionsphase, 1 Tag in der Montage, 1 Woche auf der Baustelle (beim Betreiber). Bei der Herstellung von Serienanlagen steigert sich der Nutzen entsprechend. Zusätzlich erfolgt der Plausibilitätsabgleich zwischen Software und Hardware von unterschiedlichen Gewerken und Herstellern. Die VIBN ermöglicht dabei eine deutliche Erhöhung der Testzyklen und die Berücksichtigung vielzähliger Rahmen-

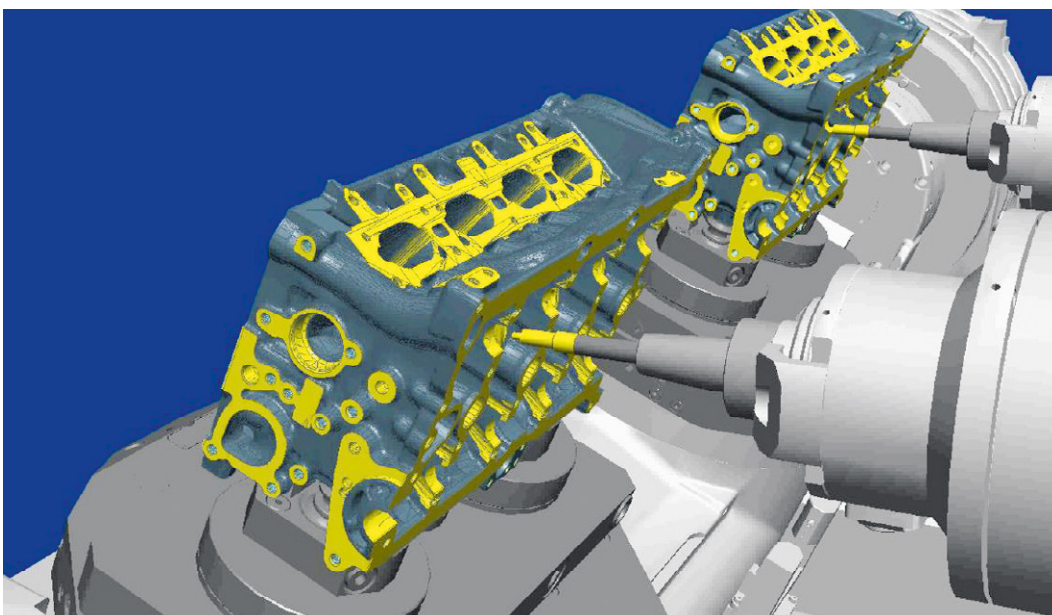


Abbildung 7: 3D-Simulationsmodell bei der Zylinderkopffertigung auf einer zweispindigen CNC-Maschine

Hardware-in-the-Loop (HiL)	Software-in-the-Loop (SiL)
<p>Reale Steuerung ist mit dem PC über eine Schnittstellenkarte verbunden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software zur Anlagensimulation (z. B. ISG Virtuos)</li> <li>• Kopplung der realen Steuerung (z. B. Beckhoff Twin CAT 3.1)</li> </ul>	<p>PC simuliert den Digitalen Zwilling ausschließlich auf Software-Basis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software zur Anlagensimulation (z. B. ISG Virtuos)</li> <li>• Software zur Steuerungssimulation (z. B. FANUC CNC guide oder SIEMENS Sinumerik One)</li> </ul>
+ Echtzeit-Simulation mit angeschlossener Steuerungs-Hardware	+ Kein Erfordernis von physischer Gerätetechnik oder physischer Labore (Kostenreduzierung)
+ Kommunikationsschnittstellen für andere Teilnehmer sind erweiterbar	+ Digitaler Zwilling und Emulation der Steuerung auf einem Rechner, mobiles System zur Mitnahme zum Kunden
+ Komponenten können als Hardware-Komponenten angeschlossen werden (z. B. Schalter, Sensor usw.)	+ Evaluierung der Softwaresteuerung während der Entwicklungsphase
+ Schrittweise Inbetriebnahme von Komponenten vor dem Einbau in die Maschine	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Die emulierte Steuerung weist höhere Zykluszeiten und eine geringere Genauigkeit als die reale Steuerung auf</li> <li>– Zusätzliche Modellerstellung für die emulierte Steuerung erforderlich</li> </ul>

Tabelle 1: Übersicht Hardware- und Software-in-the-Loop

bedingungen am virtuellen Modell und steigert so die Softwarequalität. Das Auftreten von „Bugs“ in der realen Inbetriebnahme wird maßgeblich reduziert.

Neben der Absicherung einzelner Anlagen liegt der Hauptnutzen für den Systemintegrator komplexer Produktionssysteme bei der Inbetriebnahme. Die Kopplung der virtuellen Modelle von Produktionszellen und Logistiksystemen sowie die Kopplung mit realen Anlagenbestandteilen (Mixed Reality) ermöglichen die ortsunabhängige VIBN des Gesamtsystems ohne physischen Aufbau. Abnahmerelevante Funktionen werden bereits virtuell überprüft. So wird die Projekt-Durchlaufzeit um etwa 10 Wochen reduziert. Die Auswirkungen zeigen sich bei der Installation im Betreiberwerk in erheblicher Verkürzung der Baustellendauer und bauen das Lieferanten-Image erheblich auf. Quantitativ spürbar werden diese Effekte ebenfalls in den Nachlaufkosten (Gewährleistung).

#### Erzielte Nutzenpotenziale im Unternehmen

- Höhere Wettbewerbsfähigkeit mit kürzeren Lieferzeiten und geringeren Terminrisiken.
- Software-Entwicklung wird unabhängiger von vor- und nachgelagerten Prozessen.
- Ortsunabhängige VIBN steigert die Flexibilität und Mitarbeiterzufriedenheit.

- Virtuelle Vorabnahme führt zu Kosteneinsparungen und Zeitreduzierung durch den Verzicht auf physische Testaufbauten im Vergleich zur physischen IBN (Bsp. Ladeportal: ca. 50.000 € und 10 Wochen).
- Schnellere Hochlaufkurve beim Kunden.
- Früher SOP für den Betreiber und daraus resultierend früherer Markteintritt und Profit.
- Einsparung von ca. 40 % bisheriger realer IBN-Zeiten.
- Steigerung der „Turns per shop floor Fläche [m<sup>2</sup>]“.
- Reduzierung der IBN-Kosten um ca. 10 % (Personal- und Reisekosten).
- Verbesserte Material- und Projektfinanzierung (frühere Vor- und Endabname (FAC) inkl. Cash Flow von Teil- und Restzahlungen).
- Verringerung der IBN-Aufwendungen beim Betreiber zur nachträglichen Integration von Anlagen in das Produktionssystem um ca. 80 % der bisherigen IBN-Zeiten (Anteil des Systemintegrators).

**Erstellung des Best Practice mit freundlicher Unterstützung von:**  
MAG IAS GmbH

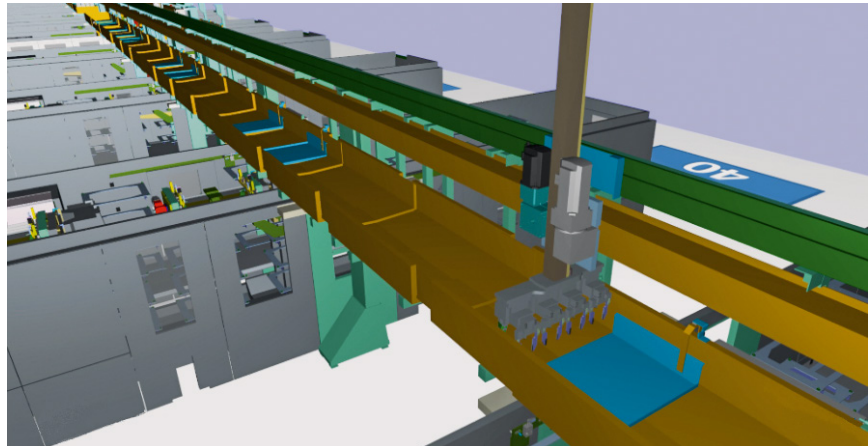


Abbildung 8: Virtuelles Modell und virtuelle Tests am Modell des Produktionssystems

## Integration von neuen Modulen in einem Brownfield-Produktionssystem

Neben der Anwendung bei neu entworfenen Anlagen (Greenfield) ermöglicht die VIBN auch für die Erweiterung bestehender Anlagen (Brownfield) einen Ansatz zur effizienten Planung und Integration. In diesem Best Practice wird die VIBN zur Erweiterung eines komplexen Logistiksystems eines flexiblen Produktionssystems für Baukasten-Kurbelwellen in der mechanischen Fertigung eines Automobilherstellers erfolgreich eingesetzt.

### Qualitätsabsicherung von Logistikmodulen mittels VIBN zur Reduzierung der Produktionsunterbrechung

Das Projekt wurde gemeinsam mit einem Systemlieferanten durchgeführt. Die VIBN wurde hierbei von der Fachabteilung Digitalisierungslabor („DLab“) beim Automobilhersteller BMW geplant und mit einem Automatisierungslieferanten HEITEC gemeinsam durchgeführt. Zusätzlich wurde ein externer Dienstleister mit weiteren zentralen Aufgaben betraut.

Zielsetzung war die Absicherung des Software-Reifegrades vor der eigentlichen Integration, hier insbesondere mit Fokus auf saubere Abläufe, beispielsweise der Verriegelungsbedingungen zur Verhinderung von Kollisionen, sowie die Qualität der Schnittstelleninteraktion zwischen Logistikmodul und Bearbeitungszentrum. Die Tests wurden mit den Auftragsdaten des übergeordneten Systems durchgeführt.

### Integration der Lieferanten in VIBN-Projekte des Anlagenbetreibers

Die VIBN-Prozesse sind bereits etabliert. Somit konnte zur Erreichung der Ziele ein Projektterminplan mit Quality-Gates anhand des bereits intern entwickelten VIBN-Prozessmodells formuliert werden. Parallel wurden Detailinformationen zu 3D-Geometrie, Kinematik sowie Elektroplanung der betroffenen Anlagen vom Anlagelieferanten eingeholt, in eine Simulationsplattform importiert und modelliert. Für den Anlagelieferanten handelte es sich um ein VIBN-Pilotprojekt, deshalb wurden dem Unternehmen vier Testtracks zur Verfügung gestellt und an eine Emulation des MES-Systems von BMW angebunden, sodass dieser im Vorlauf die Software modellbasiert entwickeln konnte. Dies ermöglichte einen früheren Beginn der Softwareentwicklung seitens des Systemlieferanten. Anhand eines umfangreichen Testplans konnte der Software-Reifegrad vor der Installation intensiv geprüft werden, sodass eine virtuelle Vorabnahme der Software möglich wurde.

Ermöglicht wurde das Projekt durch die offene VIBN-Simulationsumgebung, in welcher eine HiL-Steuerungsumgebung bestehend aus den 4 Testtracks (NC-Steuerung, Visualisierung, Bedienfelder) realisiert wurde. Des Weiteren kamen für die Projektbearbeitung u. a. die Softwarederivate S7 Classic, Simatic Imap und Profinet CBA zum Einsatz.

### Realisierte Nutzenpotenziale der VIBN bei der Erweiterung von Brownfield-Anlagen

#### Kosteneinsparungen:

- Die Dauer der Produktionsunterbrechung konnte um etwa **75 %** auf etwa **2 Tage** reduziert (vgl. Abbildung 9) und folglich die Anlaufkosten deutlich gesenkt werden.

#### Zeit:

- Gemeinsam mit der steileren Anlaufkurve reduzierte sich die Integrationszeit um etwa **66 %**.
- Die Projektdurchlaufzeit wurde um insgesamt etwa **10 %** reduziert.

#### Qualität:

- Der hohe Software-Reifegrad ermöglicht eine deutlich reduzierte Produktionsunterbrechung.
- Die Anlage wird zu einem früheren Zeitpunkt betriebsbereit an den Betreiber übergeben.
- Früheres Erreichen der geplanten OEE (Overall Equipment Effectiveness) und des Soll-Outputs (vgl. Abbildung 10).

### Lessons Learned aus der Umsetzung der VIBN

#### Erfolgsfaktoren

- VIBN erfordert eine strukturierte Einführung.
- Die Wahl eines VIBN-Pilotprojekts mit technisch und terminlich beherrschbarer Komplexität.
- Alle Beteiligten sollten Affinität zur Modellbildung und Simulation und Bereitschaft zu Veränderungen haben.
- Management Attention ist wichtig, um Ressourcen zu mobilisieren und den Veränderungsprozess anzustoßen.

#### Hemmnisse

- Die Einführung der VIBN wird die Mitarbeiter verunsichern.
- Es entstehen anfänglich Kosten, welche als „Mehrkosten“ angesehen und beim Pilotprojekt erst im Nachgang dem gesamten Nutzen gegenübergestellt werden.

#### Praktische Handlungsempfehlungen

- Initiieren Sie früh die Kommunikation zwischen Planung, Konstruktion, Mechanik, Elektrik, Software und Digitales Engineering.
- Softwareentwickler und Inbetriebnehmer arbeiten gemeinsam aktiv am digitalen Modell.
- Sorgen Sie für eine frühe Belastbarkeit von Inhalten und Detailinformationen.
- Die Softwareentwicklung sollte frühestmöglich beginnen, damit der Software-Reifegrad ausreichend für eine effiziente VIBN ist.
- Formulieren Sie Lasten- und Pflichtenheft vor Beginn der Softwareentwicklung.

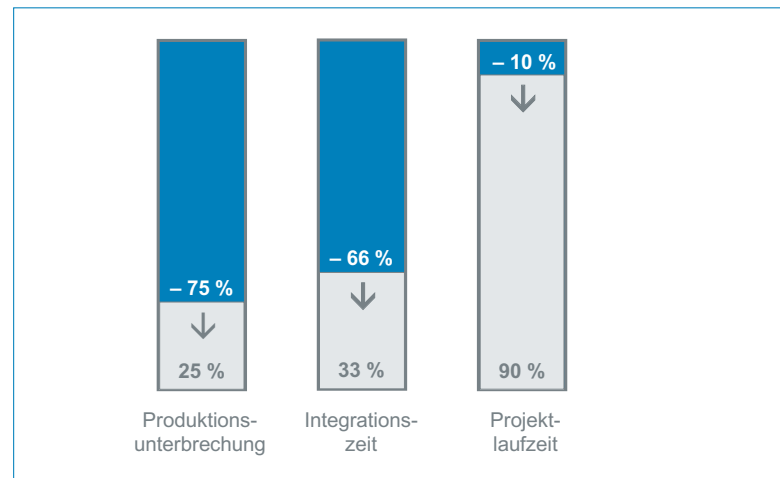


Abbildung 9: Reduzierung zeitspezifischer Projekt-KPIs

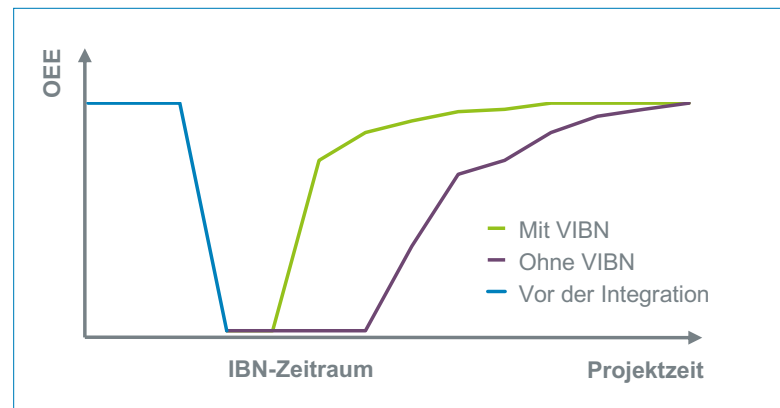


Abbildung 10: Erfahrungswerte zu Anlaufkurven mit und ohne VIBN nach einer Produktionsunterbrechung

Zukünftig wird eine bereits angelegte Modellbibliothek um weitere Feldbuskomponenten erweitert, um den Modellierungsaufwand weiter zu reduzieren. Diese wird in eine zentrale Verwaltung integriert, um die Wiederverwendung in weiteren Projekten zu vereinfachen und eine gemeinsame Datenbasis zwischen den verschiedenen Prozessen der 3D-Konstruktion, Elektroplanung, Ablaufsimulation, Layoutplanung, Softwareengineering und VIBN zu ermöglichen.

**Erstellung des Best Practice  
mit freundlicher Unterstützung von:**  
BMW Group  
Heitec AG

## Ganzheitlicher Einsatz von VIBN-Simulationsplattformen

Die VIBN als Prozess erfordert eine Simulationsplattform als Werkzeug. Diese kann auch über die VIBN hinaus als Basis für weitere Phasen des Produktentstehungsprozesses genutzt und als Ausgangspunkt für einen digitalen Zwilling des Produktionssystems eingesetzt werden. So soll das Zielbild des Simultaneous Engineering nähergekommen werden. Das folgende Best Practice aus dem Automotive-Sektor beleuchtet die Möglichkeiten, die sich durch den effektiven Einsatz von Simulationsplattformen ergeben.

### Effektive Nutzung von VIBN-Simulationsplattformen

Das Projekt zur Einführung der VIBN wurde entlang der gesamten Wertschöpfungskette vorangetrieben. Einbezogen wurden sowohl der Anlagenbetreiber als auch Systemlieferanten von Teilautomatisierungslösungen, Komponentenlieferanten diverser intelligenter Feldbuskomponenten sowie der Anbieter der Simulationsplattform. Im Vordergrund stand die Nutzung einer offenen und modularen Simulationsplattform über die reine VIBN hinaus. Sie wurde als Bindeglied zwischen dem Enginee-

ring, der VIBN sowie Systemintegration und für allgemeine Systemtests eingesetzt. Die Plattform dient dem Systemlieferanten im Engineering und zum Testen der Integration einzelner Gewerke. Der Anlagenbetreiber setzte die VIBN für Integrations- und Systemtests ein, die mit einer Vorabnahme sowie dem virtuellen Factory Acceptance Test abschlossen. Ziel war der durchgängige Einsatz der Simulationsplattform für Engineering, VIBN und Systemintegration zur höchstmöglichen Absicherung der Kundenanforderungen, zudem der Verbesserung der Qualitätssicherung und allgemeiner Systemtests. Um im Engineering bereits etablierte Steuerungstools und Lösungen weiter nutzen zu können, wurden diese durch offene Integrationsschnittstellen und Co-Simulations-Methoden mit der Simulationsplattform zu einer optimierten Lösung kombiniert. Als Zielbild wurde die Möglichkeit der vorgezogenen Integrations- und Systemtests an Produktionsszenarien inklusive aller Abhängigkeiten zwischen den am Gesamtprozess beteiligten Steuerungen und Feldbusanbindungen ausgegeben. Des Weiteren erfolgte der Aufbau von unterschiedlichen Simulationsszenarien aus virtuellen Komponenten,

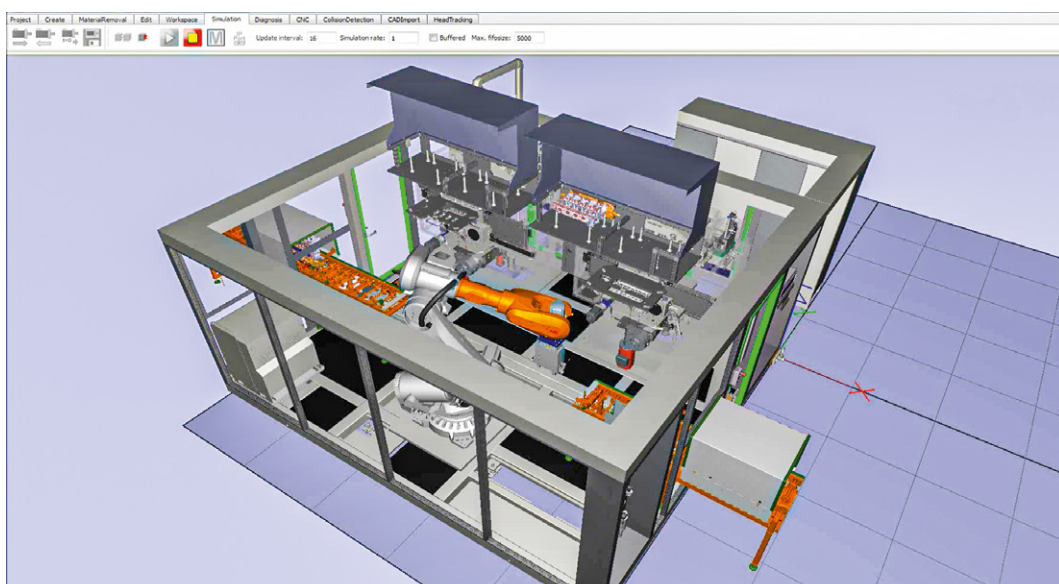


Abbildung 11: Simulationsmodell einer Roboterzelle in einer Simulationsplattform

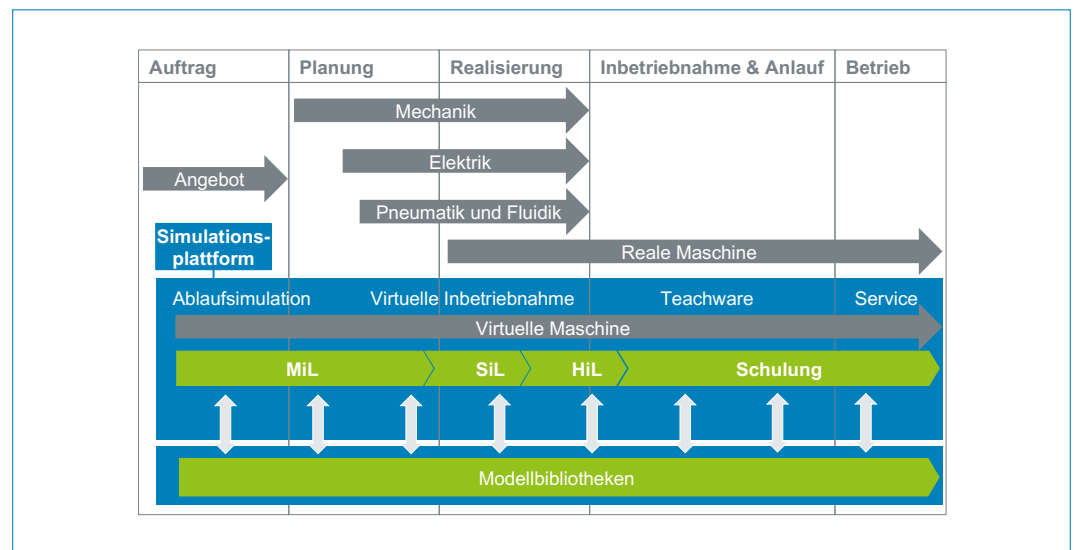


Abbildung 12: Einsatzzeitpunkte für MiL, SiL und HiL

ten, die von den beteiligten Komponentenherstellern als Teil der virtuellen Wertschöpfungskette zur Verfügung gestellt wurden. Für intelligente Feldbuskomponenten wurde zudem eine Schnittstellennorm-Prüfung ermöglicht, um so den Pflegeaufwand für den Systemlieferanten zu verringern. Ferner wurde die Nutzung der Lösung für Schulungen und Qualifizierungen des Personals beim Betreiber als Mehrwert hervorgehoben.

### Erfolgreicher Einsatz durch konsequentes Projektmanagement

Die Gesamtkoordinationsrolle übernahm in diesem Fall der Anlagenbetreiber, der auch die Integration unterschiedlicher Gewerke für die Komplettlösung zu verantworten hatte. Die Systemlieferanten brachten ihre Erfahrungen aus dem Engineering-Prozess ein, um die Integration der Entwicklungswerkzeuge in die Simulationsplattform nahtlos zu ermöglichen. Bereits in der frühen Phase des Engineerings wurden alternative Konzepte für die Produktionsabläufe an Simulationsmodellen getestet. Stellvertretend für die reale Steuerung wurden reduzierte Abläufe als Model-in-the-Loop (MiL) Simulationsbausteine erstellt. Die Verhaltensmodelle für die Anlagenkomponenten wurden bereits hinsichtlich der finalen Struktur und Schnittstellen modelliert, um die Nutzung in späteren Phasen des Engineerings, VIBN und Systemtest zu gewährleisten. Mit dem Fortschritt des Engineerings wurden virtuelle Speicherprogrammierbare

und Roboter-Steuerungen (Siemens PLCSim advanced, KUKA OfficeLite) zur Entwicklung und zum Test von Steuerungsprogrammen unabhängig von der Zielhardware als Software-in-the-Loop (SiL) Simulation eingesetzt. Neben der programmtechnischen Umsetzung konnten auf dieser Basis kritische Steuerungsprozesse getestet werden, was zu einer signifikant höheren Qualität und Stabilität der Steuerungsfunktionalität führte. Für Integrations- und Systemtest und VIBN mit realen Produktionsdaten wurden anschließend reale Steuerungen (Siemens S7-1500) mit realen Feldbussystemen inklusive Safety im Sinne von Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulation genutzt. Die Durchgängigkeit zwischen den Simulationsarten (MiL, SiL und HiL) wurde durch die bausteinorientierte, modulare Architektur der Simulationsplattform inklusive der Co-Simulationsmechanismen für Echtzeit-simulationen ermöglicht (vgl. Abbildung 12). Während der VIBN und der Nutzung parallel zum Betrieb erfolgte der Abgleich zwischen der virtuellen und realen Anlage durch Umschalten der Steuerungen über die realen Feldbussysteme zwischen den realen und den virtuellen Anlagenbereichen.

Die virtuellen Feldbuskomponenten wurden in enger Abstimmung zwischen dem Lieferanten der Simulationsplattform und den Komponentenlieferanten konzipiert und entwickelt. Mit dem Fortschritt des Projektes wurde eine zentrale **Bibliothek** für alle virtuellen Komponenten

zur Verfügung gestellt, auf die alle beteiligten Projektteilnehmer zugreifen konnten. Dies ermöglicht die Wiederverwendung vorgefertigter und getesteter virtueller Komponenten, um aus diesen Modellen Simulationsmodelle für Folgeprojekte zu erstellen bzw. zu konfigurieren. Die Vorteile einer offenen und modularen **Simulationsplattform** in Kombination mit einem konsequenten **Projektmanagement** wurden insbesondere bei den Integrations- und Systemtests unter Beweis gestellt, indem die Testqualität durch intensiven Test aller kritischen Produktionsszenarien inklusive Störsituationen messbar erhöht wurde.

#### **Nutzenpotenziale der Simulationsplattform**

##### **Kosteneinsparungen**

- Die Nutzung des Baukastensystems für alle beteiligten Systemlieferanten
- Reduzierung der Hochlaufzeit sowie Personal- und Materialkosten für die reale Inbetriebnahme durch die VIBN mittels Simulationsplattform

##### **Qualität**

- korrektive Programmierung vor Ort durch Integrations- und Systemtests stark reduziert
- Die Produktionsszenarien werden mit echten Produktionsdaten auch hinsichtlich
- aller bekannten Sonderbetriebsarten getestet.
- Nutzung getesteter Simulationsmodelle als Basis für künftige Projekte

##### **Transparenz**

- Transparenz im Engineeringprozess durch Quality-Gates in der VIBN
- Bessere Verständnisbasis und Anforderungsmanagement zwischen Anlagenbetreiber und Systemlieferant durch frühen Nachweis der Anforderungserfüllung

#### **Lessons Learned**

- Die Etablierung der VIBN erfordert aktive Mitwirkung aller Projektteilnehmer.
- Der Initialaufwand wird oft unterschätzt und erfordert ein konsequentes Projektmanagement.
- Simulationsplattformen mit der Möglichkeit, Drittanbieter-Simulationsanwendungen im Sinne einer Co Simulation integrieren zu können, führen zu einer optimierten Lösung.
- Die erfolgreiche Umsetzung der VIBN wurde durch eine im Vorfeld klar formulierte Zielsetzung und ein **konsequentes Projektmanagement** des Anlagenbetreibers sichergestellt.
- Die Wiederverwendung der Lösungen im Sinne eines Baukastensystems reduziert den Projektaufwand und führt zu besseren und „standardisierten“ Lösungen, die agil an sich ändernde Anforderungen angepasst werden können.

**Erstellung des Best Practice  
mit freundlicher Unterstützung von:  
ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH  
BMW Group**

## Durchlaufzeitverkürzung durch integrierte VIBN-Prozesse

Ein gut in die Unternehmensprozesse integrierter VIBN-Prozess erlaubt eine deutliche Reduzierung der Projektdurchlaufzeiten im Sondermaschinenbau. Im folgenden Best Practice eines Werkzeugmaschinenbauers zeigt sich eine deutliche Durchlaufzeitreduzierung in den jeweiligen Projekten für Fräs-, Dreh- und Komplettbearbeitungszentren.

Die Implementation der VIBN als Prozess bezieht die mechanische Konstruktion, Elektrokonstruktion und Softwareentwicklung mit ein und fügt als zusätzlichen Aufgabenbereich die Erstellung des VIBN-Verhaltensmodells hinzu. Unterstützt wurde die Prozessimplementierung allgemein durch den Lieferanten der Simulationsplattform, welcher insbesondere die Implementierung der Feldbustechnik für PROFINET und die Modellierung der Antriebe übernahm.

Zielsetzung war die schnelle Verhaltensmodellbildung durch einen neuen VIBN-Prozess mit kontinuierlicher Nachführung von Änderungen der 3D-Computer Aided Design (CAD)-Modelle innerhalb des eingesetzten Produktdatenmanagement (PDM)-Systems, in diesem Fall PTC Model Manager, aus den Modellen der Konstruktion heraus (vgl. Abbildung 14). Schlüsselfaktor hierbei war die Reduktion des Modellbildungsaufwandes durch vorgefertigte intelligente 3D-CAD-Modelle.

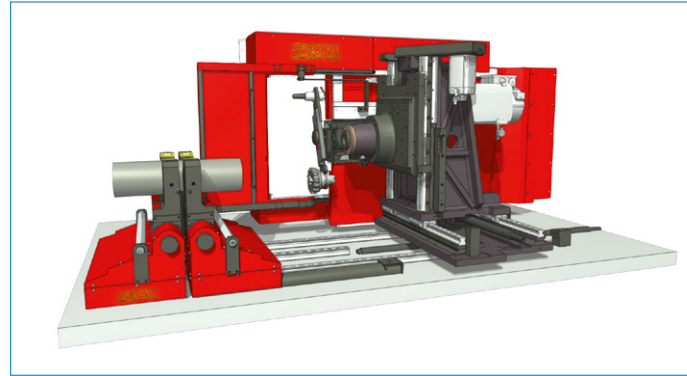


Abbildung 13: Werkzeugwechsel in einem Drehbearbeitungszentrum der SEMA Maschinenbau in der VIBN-Simulationsplattform

### Prozessparallelisierung durch die VIBN

Der bisherige Prozess umfasste in der Konstruktion zunächst die Entwicklung der Anlage als 3D-CAD-Modell in PTC Creo Elements Direct. Kollisionskontrollen wurden mit konfigurierten „Bewegungsabläufen“ innerhalb der 3D-CAD-Umgebung durchgeführt. Anschließend fand eine Übergabe des Projektes zur Elektrotechnik und Steuerungstechnik mit Ablaufferklärungen statt. In der Steuerungstechnik wurde daraufhin die Software offline ohne physische Anlage soweit wie möglich vorbereitet. Die eigentliche Erstellung der Software fand jedoch erst mit physischer Präsenz an der Anlage statt (vgl. Abbildung 15 oben). Der Prozess wurde angepasst (vgl. Abbildung 15 unten), indem in der Konstruktion die

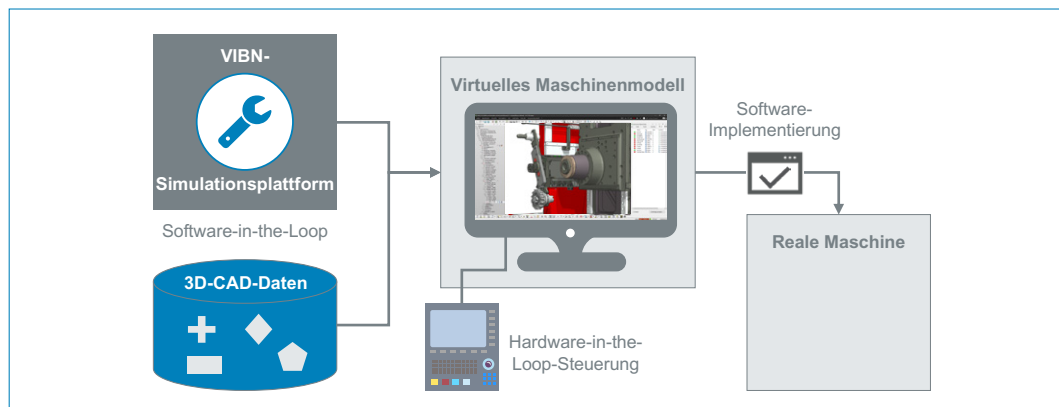


Abbildung 14: Kontinuierliche Nachführung der Änderungen aus der Konstruktion



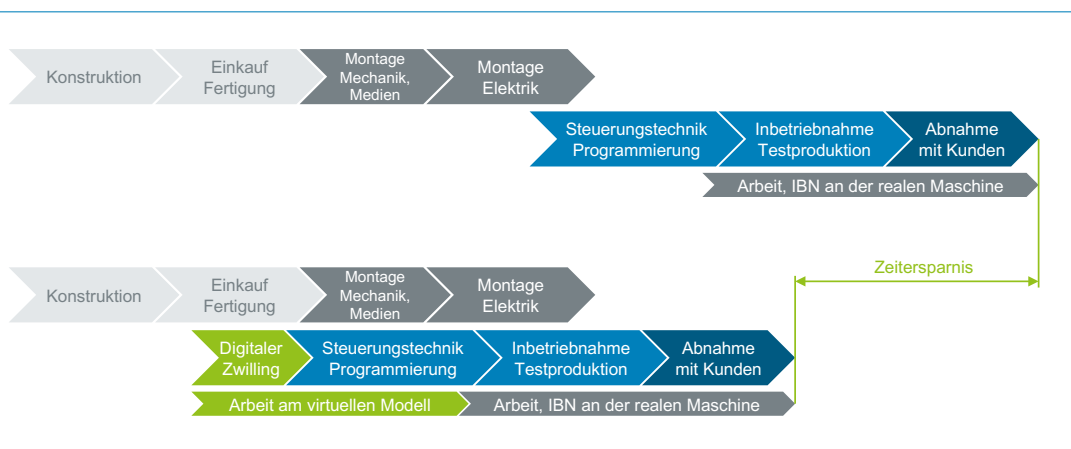


Abbildung 15: Prozessabläufe ohne und mit integriertem VIBN-Prozess über die Zeit

Erstellung eines Digitalen Zwillings aus den 3D-CAD-Daten durchführte. Der Digitale Zwilling wurde mit Funktionen und Bewegungen der realen Maschine und funktionell aktiven Sensoren und Aktoren wie bspw. Motoren, Zylindern, Endschaltern, Wegmeßsystemen etc. parallel zur Montage vorangetrieben. Danach wurde eine Simulation des sequenziellen Ablaufs mit realistischen Geschwindigkeiten und Taktzeiten unter Beachtung von Abläufen und Abhängigkeiten bzgl. Positionen und Sensoren durchgeführt (Software-in-the-Loop). Eine Maschinensteuerung war hierbei noch nicht erforderlich. Die Abteilung der Steuerungstechnik übernahm anschließend die Verbindung der physischen Siemens Sinumerik 840D SL Maschinensteuerung mit dem Maschinenmodell als Digitaler Zwilling innerhalb der Simulationsplattform industrial-Physics für die Hardware-in-the-Loop-Simulation. Die Entwicklung der Software erfolgte daraufhin am virtuellen Modell mittels der realen Steuerung, wobei ein Wechsel zwischen realer und virtueller Anlage einfach möglich war.

#### Realisierte Nutzenpotenziale integrierter VIBN-Prozesse

- Es wurde eine mehr als **20 %-ige Durchlaufzeitverkürzung** d.h. Verkürzung um etwa **2 Monate** erreicht.
- Die Simulation von Abläufen und Sequenzen war unmittelbar nach oder parallel zur Konstruktion möglich.
- Die Simulationsplattform ermöglichte die Erstellung von komplexen, vernetzten, verschachtelten, voneinander abhängigen Abläufen, welche anschließend optimiert

werden konnten. Gefährliche Abläufe in der realen Maschine konnten in der Simulation vereinfacht betrachtet werden.

- Eine Taktzeitoptimierung, verbesserte Fehlererkennung, z. B. von Kollisionen, sowie frühzeitige Aussagen zu Konzepten bzw. Konzeptverifikation führten zu einer nachhaltigen Qualitätssteigerung.
- Die Kommunikation zwischen Konstruktion und Steuerungstechnik verbesserte sich, da Abläufe in Konstruktion bereits digital simuliert wurden und so einfacher erklärbar waren.

#### Lessons Learned

- Es ist Mehraufwand vorhanden, da der steuerungstechnische Aufwand sich bisher unverändert zeigte und zusätzlicher Aufwand für die Erstellung des Digitalen Zwillings entsteht.
- Die Umsetzung der VIBN ist personaltechnisch herausfordernd, es sind exzellente Mitarbeiter notwendig.
- Die Tool-Integration muss weiter vorangetrieben und vereinfacht werden (3D-CAD – Simulation – Steuerung).
- Der ursprüngliche Gedanke, dass jeder Konstrukteur seine eigene Maschine simuliert, wurde zugunsten eines sog. „DigiTwin Teams“, welches als eigener Bereich in der Konstruktion angesiedelt ist, verworfen. In der Steuerungstechnik müssen mit Fokus auf einige Experten alle Mitarbeiter in der Lage sein, VIBN voranzutreiben.

**Erstellung des Best Practice mit freundlicher Unterstützung von: Machineering GmbH & Co. KG**

## Standortübergreifende Zusammenarbeit bei der virtuellen Inbetriebnahme



Abbildung 16: Breites Produktportfolio an Sondermaschinen, das über mehrere Standorte produziert wird.

Die Konstruktion, Fertigung und Montage im Sondermaschinenbau findet oft verteilt über mehrere Standorte statt. Die VIBN involviert jedoch viele Abteilungen eines Unternehmens. Die Organisation der standortübergreifenden Zusammenarbeit in Bezug auf die VIBN ist daher eine Herausforderung. Das folgende Best Practice aus dem Sondermaschinenbau für die Bearbeitung von Massivholz und Spanplatten soll einen Weg zur effizienten Organisation beleuchten.

Um dieses Zielbild zu erreichen, wurde die personelle Aufstellung angepasst. Es wurde ein zentrales Kompetenzzentrum „Digitale Planung und VIBN“ zur Bündelung des Know-hows eingerichtet. Je Standort wurde eine schlanke Aufstellung mit je zwei VIBN-Experten umgesetzt. Die Aufgaben zur Modellbildung und anschließenden

Tests wurden verteilt: Die Modellbildung, die Vorbereitung der Antriebs- und Sensormodelle sowie Vorabtest des Modells nach Spezifikationen vor der Auslieferung werden in einer Zentrale (vgl. Standort A in Abbildung 17) ausgeführt. Teststände werden an den einzelnen Standorten betrieben, wo die Pflege der Teststände mit PC, PLC und ggf. CNC erfolgt und die Integration der Modelle aus der Zentrale umgesetzt wird. Kleine Änderungen werden selbstständig durchgeführt, größere hingegen mit der Zentrale abgestimmt (vgl. Abbildung 17).

### Lessons Learned

- Die passende Mischung aus realen und digitalen Maschinentests macht den Unterschied.
- Die Rationalisierungspotentiale durch weniger Reisen zwischen den Standorten und mehr inhaltlichem Arbeiten sind enorm (Eine Reduktion von Reisezeiten um bis zu 50 %).
- Die Umsetzung scheidet oft zunächst an der über Jahrzehnte gewachsenen Arbeitskultur.
- Die Transformation eines klassischen Maschinenbau-Unternehmens in die digitale Welt mit Online-Besprechungen, Zusammenarbeit über Standorte und weniger Präsenz verlangt eine respektvolle Umstellung aller Beteiligten im Hinblick auf die Arbeitskultur.
- Fazit: Langer Atem wird belohnt und alle Kollegen müssen auf die Reise der VIBN-Umsetzung mitgenommen werden.

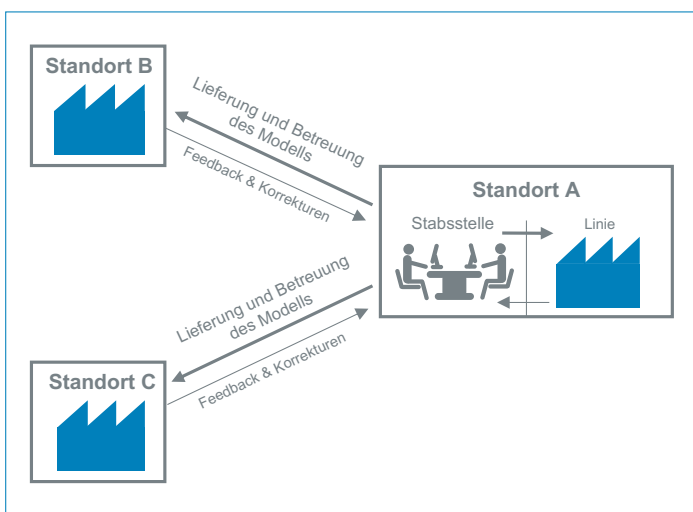


Abbildung 17: Standort-übergreifende Organisation der VIBN-Prozesse

**Erstellung des Best Practice  
mit freundlicher Unterstützung von:  
Machineering GmbH & Co. KG  
Weinig Gruppe**

## Steigerung der VIBN-Effizienz: Integration von CAD-Daten über ein Produktdatenmanagement System

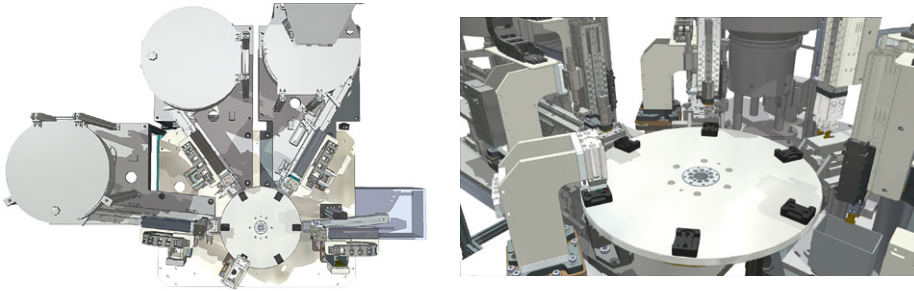


Abbildung 18: CAD-Modell einer Anlage als Basis für die effiziente VIBN

Die Pflege und das Vorhalten der Verhaltensmodelle innerhalb der Simulationsplattform bei Änderungen in der Konstruktion sind aufwendig. Abhilfe schafft hier die kontinuierliche Nachführung von Änderungen aus der Konstruktion heraus durch vorgefertigte intelligente 3D-Modelle. Die folgend vorgestellte Integration einer solchen Lösung als Prozess bei einem Maschinenlieferanten verdeutlicht die Vorteile, die eine lieferkettenübergreifende Interaktion für einen Systemlieferanten des Serien- und Sondermaschinebaus bietet.

### Lieferketten übergreifende Interaktion zur Beschleunigung der Modellbildung

Das Projekt wurde vom Systemlieferanten in Zusammenarbeit mit einem Lieferanten für Greifsysteme sowie dem Softwarelieferanten vorangetrieben, wobei den beteiligten Unternehmen jeweils unterschiedliche Expertenrollen zugewiesen wurden. Mechanische Konstruktion, Elektrokonstruktion und Softwareentwicklung

lagen beim Systemlieferanten, während der Komponentenlieferant sich Simulation und Produktmanagement widmete. Das Applikations-Engineering wurde federführend durch den Softwarelieferanten übernommen.

Zielsetzung des Projektes war die Beschleunigung der Modellbildung durch jeweils vorbereitete Komponentenmodelle sowie die Reduktion des Aufwandes durch bereits vorgefertigte intelligente 3D-Modelle. Im Zuge dessen sollte auch ein Prozess zu kontinuierlichen Nachführung aktualisierter Konstruktionsunterlagen der Komponentenlieferanten sowie des In-House-Engineerings entwickelt werden.

### Integrierte Komponentenmodelle erleichtern das Engineering

Zur Durchführung des Projektes wurde ein Projektplan mit Meilensteinen entworfen (vgl. Abbildung 19). Die Prozesse wurden auf Basis diverser Software-Anwendungen realisiert.

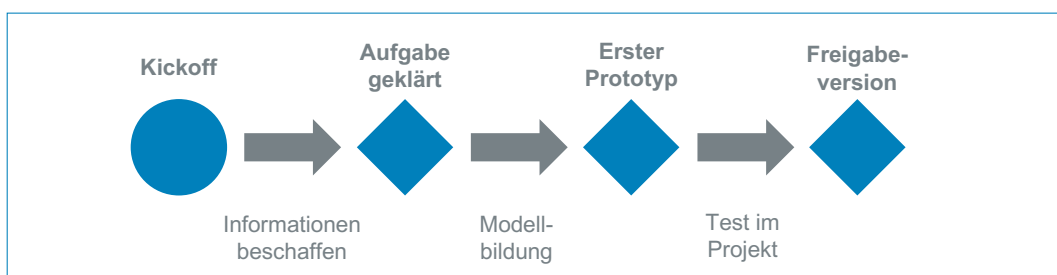


Abbildung 19: VIBN-Projekt mit Meilensteinen

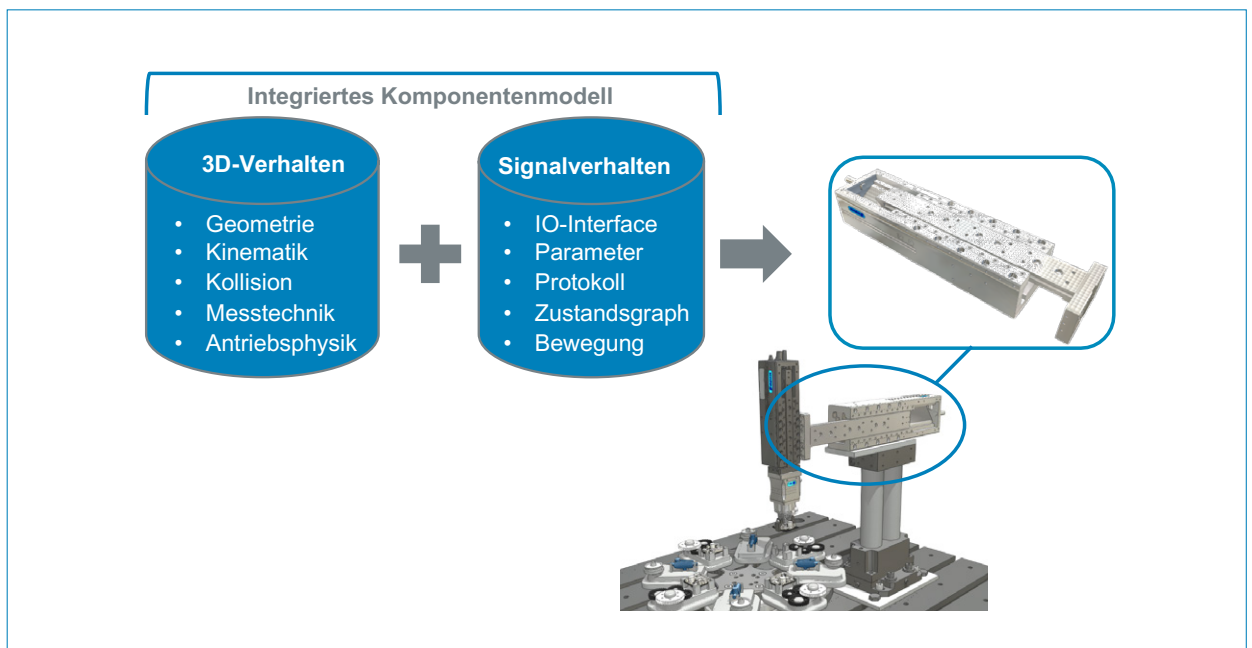


Abbildung 20: Integriertes Komponentenmodell: 3D-Verhalten mit Signalverhalten beschreiben die gesamte Komponente (hier: Pneumatikaktuator)

Diese umfassen das interne Produktdatenmanagement, Solidworks (Computer Aided Design & Finite Elemente-Simulation), industrialPhysics (VIBN) sowie FieldBox 1 (PROFINET). Es wurde ein integriertes Komponentenmodell entwickelt, welches sowohl 3D- als auch Signalverhalten eines Bauteils umfasst. Einzelne Aspekte können in diesem Modell unabhängig voneinander durch die beteiligten Abteilungen angepasst werden (vgl. Abbildung 20). Für die Zukunft sind die Einbindung weiterer Komponenten des Lieferanten sowie die Aufnahme weiterer Komponentenlieferanten in die Prozesse denkbar.

#### Nutzenpotenziale durch die Integration von CAD-Daten über ein Produktdatenmanagementsystem

- Der Aufbau einer Komponentenbibliothek für das Portfolio des Komponentenlieferanten wurde ermöglicht, die kontinuierliche Pflege der Komponentenbibliothek sichert Erfahrung.
- Die Ableitung von VIBN-Modellen aus den Konstruktionszeichnungen auf Knopfdruck.
- Eine hohe Standardisierung im 3D-Modell durch Nutzung der PDM-Funktionalität.
- Die Reduzierung der Aufwände auf die IO-Verknüpfung und den virtuellen IO-Check.

- Durch die Maßnahmen reduzieren sich die VIBN-Aufwände im Projektgeschäft um bis zu 33 %.
- Der Aufwand für die Komponentenpflege kann als Dauerlast über verschiedene Projekte gut verteilt werden.
- Der Wiederverwendungsgrad steigt mit der Anzahl gleichzeitig durchgeführter Projekte.

#### Lessons Learned

- Erkannte Herausforderungen bei der Zusammenarbeit zwischen den Zulieferern:
  - Know-how ist etwa gleich verteilt über Komponentenhersteller, Maschinenbauer und Toolhersteller.
  - Dies erfordert die konzentrierte Zusammenarbeit mit Moderation, da oft ein unterschiedliches Verständnis der Inhalte vorliegt bzw. unterschiedliche „Sprachen“ gesprochen werden.
- Es sollte sich ein konkreter Projektplan analog zur Abbildung 19 zurechtgelegt werden.

**Erstellung des Best Practice mit freundlicher Unterstützung von:**  
 Machineering GmbH & Co. KG  
 HAHN Automation GmbH  
 SCHUNK GmbH & Co. KG

## Steigerung der VIBN-Effizienz: Automatisierte Bereitstellung von Verhaltensmodellen

Die VIBN ermöglicht die Verbesserung von Engineeringprozessen von Anlagenlieferanten und Systemintegratoren. Sie erfordert jedoch auch Aufwände in Bezug auf die Erstellung von Simulationsmodellen, die das Verhalten von Anlagenkomponenten sowie des Gesamtsystems abbilden. Insbesondere die Erstellung der Verhaltensmodelle fremder Anlagenkomponenten führt dabei zu Mehraufwänden, da diese noch nicht bestehen oder nicht im eigenen Unternehmen verwendet werden können. Um VIBN-Prozesse effizienter zu gestalten und die entwickelten Verhaltensmodelle umfassender zu nutzen, empfiehlt sich die Bereitstellung und Nutzung von Verhaltensmodellen entlang der gesamten Zulieferkette. Beispielhaft hierfür steht ein Best Practice aus dem Anlagenbau für die Holzverarbeitung.

### VIBN entlang einer durchgängigen Wertschöpfungskette

**Komponentenhersteller** erweitern kontinuierlich ihr Portfolio um virtuelle Komponenten, um vorab Verhaltensmodelle für bspw. Antriebe, intelligente Feldbuskomponenten und Greifersysteme an den **Systemlieferanten** zu liefern. Diese werden direkt innerhalb der Simulationsplattform, welche vorab zusammen mit dem Abnehmer, einem Möbelhersteller aus China, festgelegt wurde, verwendet. Die Simulationsplattform bietet ein Baukastensystem für Software-in-the-Loop (SiL) und Hardware-

in-the-Loop (HiL) und dient als Integrationsplattform für die VIBN (vgl. Abbildung 22). Diese wird vom Systemlieferanten durchgängig im Engineering, hier insbesondere zum Testen der Integration einzelner Gewerke, zur Serviceunterstützung und im Konfigurationsmanagement eingesetzt. Der **Anlagenbetreiber** konnte mit VIBN die Vorabnahme durchführen. Des Weiteren wurde sie als virtueller Factory Acceptance Test genutzt. Fortlaufend werden die Verhaltensmodelle weiter für Produktionsoptimierungen und Schulungen verwendet.

Zielsetzung des VIBN-Projekts seitens des Systemlieferanten war der komplette Ersatz der internen Abnahme an realen Anlagen im Werk durch die VIBN, um Kosten zu reduzieren. In der Vertriebsphase ermöglicht der Einsatz der VIBN-Werkzeuge zudem virtuelle Machbarkeitsstudien und unterstützt dabei, Abnahmekriterien zwischen Systemlieferanten und Betreiber eindeutig zu formulieren. Durch die Einbindung der Komponentenlieferanten wurde als weiteres Ziel die automatische Modellgenerierung auf Basis des Baukastensystems anvisiert.

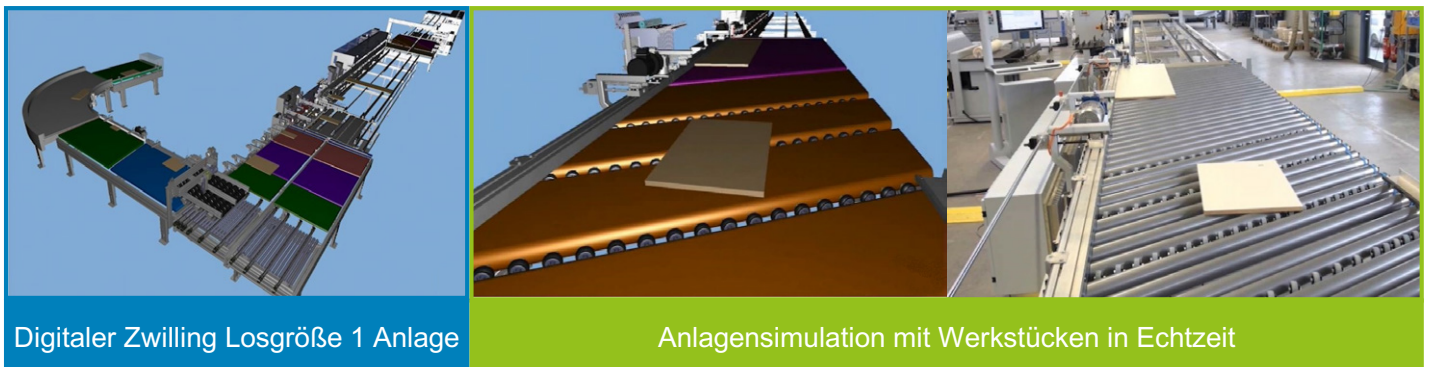


Abbildung 21: VIBN für Holzverarbeitende Anlage im Sondermaschinenbau

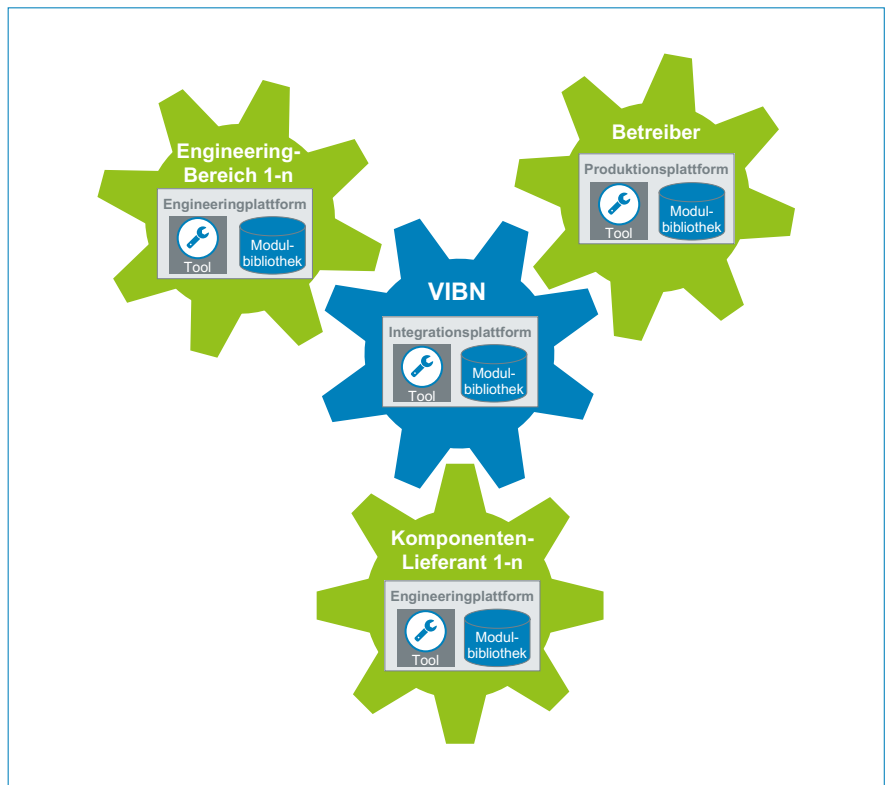


Abbildung 22: Simulationsplattform als Integrationswerkzeug: Alle Modelle werden von allen Beteiligten als Referenz auf dem aktuellen Stand gehalten

### Etablierung der Vision der virtuellen Wertschöpfungskette

Zum Erreichen dieser Zielsetzungen wurde vor Projektstart in Abstimmung mit der Geschäftsleitung die Vision der kompletten virtuellen Wertschöpfungskette für die Unternehmensgruppe fixiert. Neben dem technischen Projektteam wurde beim Systemlieferanten ein Lenkungsausschuss mit Verantwortlichen aus dem Bereich Service, den Leitern der beteiligten Business-Units sowie der Geschäftsleitung etabliert. Den Komponentenlieferanten wurde die Zielsetzung des Projektes kommuniziert und Lieferprozesse fixiert. Sie werden aktiv in die Umsetzung der virtuellen Komponenten eingebunden, welche in enger Abstimmung mit dem Lieferanten der Simulationsplattform vorangetrieben wird. Nach der erfolgreichen Umsetzung des Pilotprojektes, nachgewiesen durch akribisches Projektcontrolling, wurde das Roll-Out über alle Unternehmensbereiche als strategisches Projekt geplant und durchgeführt. Ein Aufbau der Anlagen zur Vorabnahme im Werk ist nicht länger erforderlich.

Erfolgsfaktoren für das Projekt waren neben der Entschlossenheit der Geschäftsleitung das Baukastensystem für die virtuellen Modelle und die offene Simulationsplattform. Diese ermöglicht die virtuelle Abbildung der Produkte und Produktionsstruktur inklusive der Zulieferer aus der Wertschöpfungskette für SiL/HiL-Simulationen. Im organisatorischen Bereich sorgte die klare Projektstruktur mit messbaren Projektzielen dafür, dass Abweichungen von Projektzielen rechtzeitig erkannt und korrektive Maßnahmen eingeleitet werden konnten.

### Realisierte Nutzenpotenziale durch die lieferkettenübergreifende Bereitstellung von Verhaltensmodellen

#### Kosteneinsparungen:

- Die VIBN ermöglicht den Verzicht auf Fläche/Hallenbelegung für die internen Vorab-Inbetriebnahmen.
- Die Reduzierung von Personal- und Materialkosten für die reale Inbetriebnahme.
- Die automatische Erstellung der Simulationsmodelle aus einem Baukastensystem (Personalaufwand von 12 MT reduziert auf 10 Min).

- Die Nutzung des Baukastensystems in allen Unternehmensbereichen zur Beschleunigung der Innovationskraft.

**Qualität:**

- Es ist keine Anpassung der Steuerungssoftware vor Ort beim Betreiber notwendig.
- Produktionsszenarien werden mit echten Produktionsdaten auch hinsichtlich aller bekannten Sonderbetriebsarten getestet.
- Verifizierte Simulationsmodelle dienen als Basis für weitere Projekte.
- Die Verwendung von neuen Komponenten ist in der virtuellen Produktion testbar.

**Marktwert:**

- VIBN und Nachweis der Qualität sind in der Akquisitionsphase ein Wettbewerbsvorteil.
- VIBN ermöglicht kürzere Projektdurchlaufzeiten als Basis für „time to market“.
- Die verbesserte Vertrauensbasis zwischen Betreiber und Kunde durch frühen Nachweis der Leistungsfähigkeit an virtuellen Modellen.

**Lessons Learned**

- Die Etablierung der VIBN erfordert „Change Management“.
- Der Aufwand für die Einbindung und Überzeugung aller Unternehmensbereiche wird sehr oft unterschätzt, der Nachweis durch das Projektcontrolling hilft hier enorm.
- Die Zusammenarbeit aller Beteiligten der Zuliefererkette hat hohen Einfluss auf die Effizienz der VIBN.
- Die erfolgreiche Einführung der VIBN mit einem messbaren Return on Invest ist nur möglich, wenn sie mit einer Unternehmensstrategie verbunden ist statt lediglich als Tool für das Engineering zu dienen.
- VIBN bildet die Basis für Produktinnovationen und neue agile Prozesse im Unternehmen und schafft so Nutzenpotenziale über das Projekt hinaus.

**Erstellung des Best Practice  
mit freundlicher Unterstützung von:**  
ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH  
Festo SE & Co. KG  
SMC Deutschland GmbH  
SCHUNK GmbH & Co. KG

## Aus- und Weiterbildung im Bereich der VIBN mittels virtueller Laborumgebung

Die Motivation für die Aus- und Weiterbildung liegt in den zukünftig zu erwartenden Anforderungen seitens der Industrie an Mitarbeiter sowie Universitätsabsolventen, welche sich aus der Digitalisierung und des Einsatzes der VIBN im Engineering von Anlagen ergeben. Der Einsatz der VIBN erfordert ein möglichst frühzeitiges Entstehen eines virtuellen Modells sowie ein interdisziplinäres Arbeiten aller beteiligten Gewerke, um möglichst effizient die Vielzahl an mechatronischen Komponenten einer Anlage als virtuelles Modell abzubilden. Alle beteiligten Disziplinen benötigen daher ausreichende Kompetenzen aus den jeweils benachbarten Disziplinen. Mitarbeiter im Bereich des Engineerings müssen im interdisziplinären Umgang mit den

Tools zur VIBN geschult werden und lernen, welchen Beitrag sie zur Erstellung oder zur Nutzung der Modelle bei der Durchführung der VIBN leisten müssen. Das vorgestellte Schulungskonzept entstammt aus der universitären Lehre<sup>1</sup> und wird auf den industriellen Kontext übertragen.

### Vorstellung des Schulungskonzepts

Das Schulungskonzept gliedert sich in zwei Teile. Zunächst werden grundlegende theoretische Kenntnisse in der Automatisierungstechnik und Systemmodellierung vermittelt. Als Lehrform wird das Blended Learning, eine Mischung aus Präsenzveranstaltungen und E-Learning, genutzt. Im zweiten Teil werden dedizierte Softwareumgebungen (VIBN-Tools, virtuelle Controller, CAD-Tools etc.) verwendet, um Projekte praxisnah und selbstständig zu bearbeiten. Hierfür wird die Methode des problembasierten Lernens (PBL) eingesetzt.

<sup>1</sup> M. Dietz, B. Meissner und R. Schmidt-Vollus, „Teaching Digitalization and Systems Modeling for Virtual Commissioning Using Virtual Labs,“ in 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Delft, Niederlande, 2020.

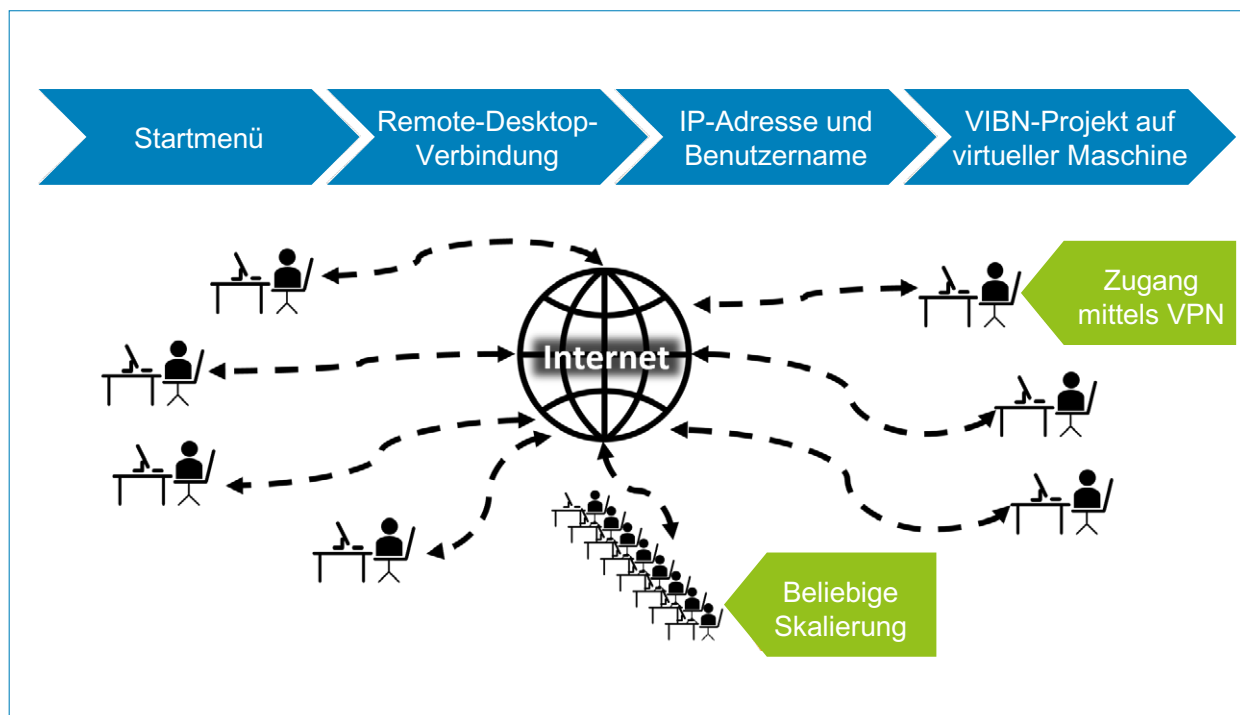


Abbildung 23: Zugriff auf die virtuelle Laborumgebung<sup>1</sup>



### Lernziele des Seminars und didaktisches Konzept

Die Lernziele des Seminars beziehen sich auf verschiedene Kompetenzstufen und entsprechen den Stufen *Erinnern-Anwenden-Bewerten* der Taxonomie des kognitiven Prozesses<sup>2</sup>:

- **Faktenwissen:**  
Lernende können Anwendungen der VIBN beschreiben.
- **Methodisches Wissen:**  
Lernende können eine VIBN durchführen.
- **Aktionswissen:**  
Lernende können verschiedene Softwarekonzepte und Anforderungen an Modellierungssoftware bewerten sowie interdisziplinäres Wissen und Fähigkeiten anwenden.

Die VIBN ermöglicht eine direkte Form der Interaktion und das Experimentieren. Die Methode des PBL legt den Schwerpunkt auf dem Transfer von Theorie in die Praxis anhand konkreter Lernfälle/Probleme. Der PBL-Abschnitt des Seminars beginnt damit, dass die Bewegung einer Anlagenkomponente (z. B. ein Pneumatikzylinder) modifiziert wird. Die Teilnehmer müssen die Fachbegriffe kennenlernen und einen Weg finden, erfolgreich mit der virtuellen Umgebung zu interagieren. Ergänzendes Informationsmaterial über den theoretischen Hintergrund sowie Software-Spezifikationen, Video-Tutorials und ein Online-Forum werden auf einer Lernplattform bereitgestellt. Gruppenspezifische Ergebnisse werden in einem Wiki auf der Lernplattform dokumentiert und in einer abschließenden Präsentation gezeigt und diskutiert.

Als nächstes müssen das Verhalten der Komponente und das visuelle Modell gekoppelt werden, um ein virtuelles Anlagenmodell zu erstellen, welches für die VIBN anwendbar ist. Dazu wird mittels computergestützter mechanischer Konstruktionssoftware (MCAD) ein virtuelles Abbild erstellt und mit weiteren Informationen über Freiheitsgrade einzelner Baugruppen angereichert, sodass es von einem statischen MCAD-Modell zu einem dynamischen Modell wird.

### Technisches Konzept und benötigte IT-Komponenten

Die VIBN-Softwareumgebung besteht aus einer SPS, die über einen Feldbus mit einem imaginären Schalter verbunden ist, welcher Daten entweder an das Simulationsmodell oder die reale Maschine weiterleitet. Eine Hauptschwierigkeit der VIBN besteht darin, dass die Softwareumgebung aus mehreren Softwarewerkzeugen besteht. Das Konfigurationswerkzeug für die SPS-Hardware und das Programmierwerkzeug für die Software werden heutzutage von den SPS-Herstellern in ein Werkzeug integriert. Bei der VIBN wird der SPS-Code in keiner Weise verändert. Spätere Codeänderungen oder zusätzlicher Testcode sind nicht zulässig.

Das experimentierfähige Simulationsmodell wird von der speziellen VIBN-Softwareumgebung berechnet, die Verhaltensberechnungen, eine gekoppelte Visualisierung in 2D oder 3D und eine Feldbusemulation beinhaltet.

Die Visualisierung ist meist eine separate Anwendung desselben Softwareherstellers. Eine Feldbusemulation ist notwendig, um die Netzwerkkommunikation abzubilden, die analoge und digitale Signale von der SPS an verteilte Geräte wie Sensoren und Aktoren und andere Geräte sendet und empfängt. VIBN Software wird oft als Softwaresuite angeboten, die alle genannten Funktionalitäten enthält.

Die Softwareumgebung wird auf einer virtuellen Maschine (VM) auf einem PC oder auf einem dedizierten Server gehostet. Die daraus resultierenden Vorteile sind die Kopierbarkeit und Austauschbarkeit. Wenn ein Fehler in einer VM auftritt, kann sie einfach durch eine Sicherheitskopie ersetzt werden. Auch kann die VM zeitweilig unterbrochen und mit wenigen Mausklicks sehr einfach wiederhergestellt werden. Der Zugriff auf die virtuelle Umgebung erfolgt von beliebigen Orten mittels Virtual Private Network (VPN). Der Zugriff auf die virtuelle Laborumgebung zur Durchführung der VIBN ist in Abbildung 23 konzeptionell dargestellt.

<sup>2</sup> L. Anderson, D. R. Krathwohl und B. S. Bloom, A Taxonomy for Learning Teaching: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives, New York: Longman, 2000.

### Übertrag auf industrielle Anwendungen anhand von drei Szenarien

#### Einstieg in das Thema „VIBN“ durch Aus- und Weiterbildungsinstitute

- Grundkenntnisse anhand von Lernbeispielen in Form virtueller Anlagen
- Kopplung der virtuellen Anlage mit einer Steuerung und exemplarische Durchführung der VIBN
- Erstellung virtueller Modelle der mechatronischen Komponenten

#### Schulung von Ingenieuren und anderen Fachkräften verschiedener Gewerke

- Grundkenntnisse und Beitrag der jeweiligen Gewerke zur VIBN
- Digitale Bereitstellung von Informationen durch die Gewerke
- Schulung von VIBN-Softwaretools durch Softwarehersteller

#### Schulung von Anlagenbedienern und Instandhaltern (sog. Operator Training)

- Schulung von Anlagenbedienern direkt am virtuellen Anlagenmodell
- Simulation von Fehlerzuständen und anschließende eigenständige Fehlerbehebung
- Schulung durch den Betreiber der Anlage bzw. Ersteller des virtuellen Anlagenmodells

### Lessons Learned aus der Anwendung des Schulungskonzepts

- Es bestehen Herausforderungen aufgrund unterschiedlicher Definitionen der VIBN und variierender, aber stets hoher Erwartungen der Seminarteilnehmenden.
- Die selbständige Bearbeitung der Aufgaben im Team wurde gut aufgenommen.
- Kleine, praktische Beispiele führen zu vielen kleinen Erfolgserlebnissen und motivieren.
- Soziale und teambildende Fähigkeiten sind wichtig für komplexe VIBN-Projekte.
- Die risikofreie Simulation senkt Hemmnisse und führt zu einer aufgeschlossenen Interaktion.

**Erstellung des Best Practice mit freundlicher Unterstützung von:**  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm

## Projektpartner / Impressum

### **VDMA**

#### **Forum Industrie 4.0**

Lyoner Straße 18  
60528 Frankfurt am Main  
Telefon +49 69 6603-1939  
E-Mail [industrie40@vdma.org](mailto:industrie40@vdma.org)  
Internet [industrie40.vdma.org](http://industrie40.vdma.org)

### **Verantwortlich**

Dr. Christian Mosch, VDMA-Forum Industrie 4.0  
Etienne Axmann, VDMA Robotik + Automation

### **Koordination der Best Practices**

Institut für Steuerungstechnik der  
Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen  
(ISW) der Universität Stuttgart  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl  
Dipl.-Ing. Karl Kübler  
Florian Jaensch, M.Sc.

RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse  
Dr. Ralph Richter  
Fabian Nöhring, M.Sc.,  
Thorbjörn Borggräfe, M.Sc.

### **Design und Layout**

VDMA Verlag GmbH

### **Erscheinungsjahr**

2020

### **Copyright**

VDMA,  
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeug-  
maschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW),  
RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.

### **Hinweis**

Die Verbreitung, Vervielfältigung und öffentliche  
Wiedergabe dieser Publikation bedarf der Zustim-  
mung des VDMA und seiner Partner. Auszüge der  
Publikation können im Rahmen des Zitatrechts  
(§ 51 Urheberrechtsgesetz) unter Beachtung des  
Quellenhinweises verwendet werden.

**VDMA****Forum Industrie 4.0**

Lyoner Straße 18

60528 Frankfurt am Main

Telefon +49 69 6603-1939

E-Mail [industrie40@vdma.org](mailto:industrie40@vdma.org)

Internet [industrie40.vdma.org](http://industrie40.vdma.org)

**Institut für Steuerungstechnik  
der Werkzeugmaschinen und  
Fertigungseinrichtungen (ISW)****Universität Stuttgart**

Seidenstraße 36

70174 Stuttgart

Internet [www.isw.uni-stuttgart.de](http://www.isw.uni-stuttgart.de)

**RIF****Institut für Forschung und Transfer e.V.**

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 20

44227 Dortmund

Internet [www.rif-ev.de](http://www.rif-ev.de)