



Simultane Simulation – Virtuelle Inbetriebnahme am Beispiel einer Ringwalzanlage

Simultaneous Simulation, das ganzheitliche Simulationskonzept: Anfangen von der Anlagenplanung vor Auftragsvergabe bis zur virtuellen Inbetriebnahme vor dem Start der eigentlichen Inbetriebnahme liefert dieses Konzept Anlagenherstellern und seinen Kunden gleichermaßen eine Fülle von Vorteilen. Durch die sehr frühe Integration der Simulation in den Akquis- und Auftragsbearbeitungsprozess können planerische und technisch kritische Aspekte der Anlage sicherer und schneller untersucht und ausgelegt werden als im konventionellen Bearbeitungsprozess ohne Simulation.

AUTOREN



**Dr.-Ing.
Mark Haverkamp**

leitet die Gruppe Anlagen-
simulation der SMS group am
Standort Mönchengladbach



**Dipl.-Ing.
Norbert Gober**

leitet die zentrale Entwicklung
der SMS group am Standort
Mönchengladbach

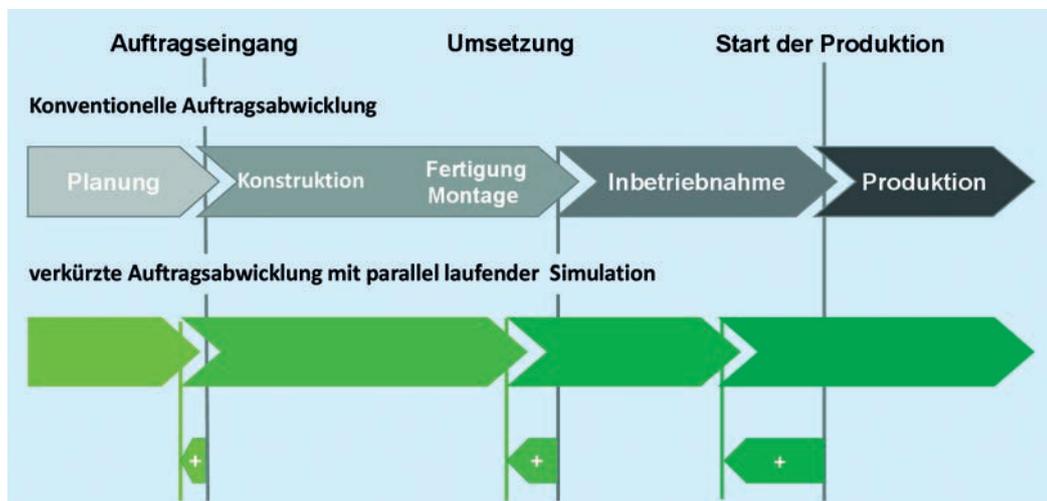


Bild 1: Auftragsbearbeitung mit paralleler Simulation

WARUM SIMULATION UND VIRTUELLE INBETRIEBNAHME?

Anlagen für die Massivumformung besitzen häufig viele Merkmale, die einen vollumfänglichen funktionalen Aufbau in den Werkshallen des Anlagenherstellers nicht gestattet. Hierzu zählen neben der Größe und der Komplexität hinsichtlich Mechanik, Elektrik, Hydraulik und Pneumatik der Anlage auch die Funktionskopplung zu Fremdsystemen und nicht zuletzt die zumeist hohe bereitzustellende Leistung. Dies führt dazu, dass die Anlage real erst beim Kunden aufgebaut und getestet werden kann. In der Vergangenheit, als das Thema Simulation noch unbedeutend war, resultierte daraus eine Reihe von Problemen. Programmierfehler fielen beispielsweise erst bei der echten Inbetriebnahme (IBN) auf und konnten so schnell den Zeitplan verzögern, insbesondere dann, wenn die Programmierer aufgrund anderer Installationsarbeiten nicht durchgängig an der Maschine arbeiten konnten. Fehler in der Schnittstellen- und in der Hardwareauslegung sowie bei auftretenden Kollisionen in den Maschinenbewegungen konnten ebenfalls ganz erheblich den Zeitablauf verzögern: Komponenten mussten eventuell neu beschafft oder gefertigt werden.

Mit der Integration der Simulationstechnik in den Auftragsbearbeitungsprozess (Bild 1) werden vor der realen IBN der Anlagen diese zunächst virtuell in Betrieb (VIBN) genommen. Hier-

bei wird das virtuelle Anlagenmodell mit der realen Automatisierungshardware nach dem Hardware in the Loop-Ansatz (HIL) in Echtzeit miteinander gekoppelt und die Anlagenzustände in 3D visualisiert. Die daraus resultierenden Vorteile können wie folgt genannt werden:

- Reduzierung der IBN-Zeit bis zu 80 Prozent [1]
- Reduzierung der Gesamtkosten
- Vorverlagerung des Produktionsstarts (SoP) beim Kunden
- Steilere Hochlaufkurve der Produktivität nach SoP (vorherige und parallele Optimierung durch Simulation)
- Konstruktive Schwachstellen fallen frühzeitig auf und führen nicht zur IBN-Verzögerung
- Einfache Entwicklung und Prüfung neuer Funktionen vor der realen IBN
- Tests von Sicherheitsfunktionen ohne Gefahr von Crashes
- Durchführung von Funktionstests, ohne real die Anlage zu stören
- Training von Bediener- und Instandhaltungspersonal vor Montagebeginn
- Training und Schulung neuer Mitarbeiter, ohne die Produktion zu beeinflussen
- Optimierung einer laufenden Anlage, ohne in die Produktion einzugreifen.



Bild 2: Auftragsbearbeitung mit VIBN

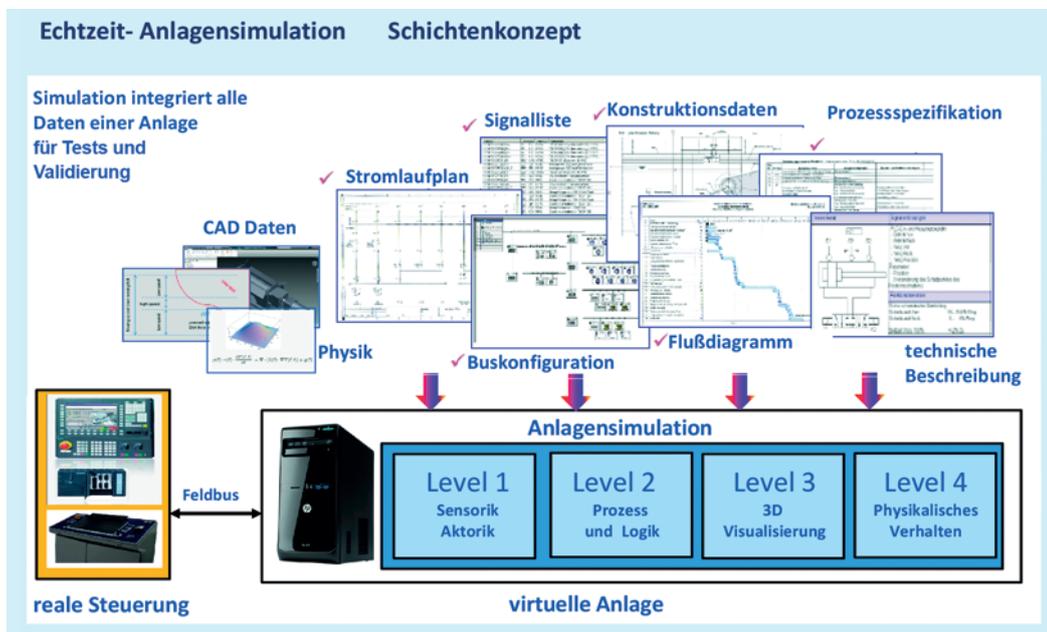


Bild 3: Echtzeitsimulation Schichtenkonzept

VERKÜRZUNG DER AUFTRAGSBEARBEITUNGSZEIT UND EINSPARUNG VON KOSTEN

Führt man den Simulationsgedanken konsequent weiter fort, kommt man zum Ergebnis, die Auftragsbearbeitungszeit weiter verkürzen zu können, indem noch früher, bereits mit der Akquise und Planungsphase mit der Simulation begonnen und diese simultan während des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses fortgeführt wird (Bild 2). In diesem ganzheitlichen Ansatz „Simultaneous Simulation“ werden Simulationen für den Materialfluss (zum Beispiel „Bottleneck“-Analysen), Umform- und Gefügesimulationen sowie physikalische Simulationen zur Komponentenauslegung (zum Beispiel Strukturanalysen, Energiefluss-, Hydraulik- oder Thermische Simulationen) eingesetzt. Die Ergebnisse oder Bestandteile dieser Simulationen, wie zum Beispiel aufbereitete 3D-Daten, können in den aufeinander aufbauenden Simulationen, möglicherweise bei einer virtuellen IBN, weiterverwendet werden.

TECHNISCHES KONZEPT – AUFGABENSTELLUNG DER VIBN

Ziel der virtuellen Inbetriebnahme ist es, die korrekte Funktion der Automatisierungssoftware sicherzustellen, damit auf der Baustelle eine zügige und reibungslose IBN erfolgen kann. Der erste wichtige Punkt hierbei ist die Datenbasis. Sowohl für den Programmierer zur Erstellung der Software und den Elektriker zur Verkabelung der Schaltschränke sowie der elektrischen Komponenten im Feld als auch für den Inbetriebnehmer muss der elektrische Schaltplan die Basis jeder einzelnen Arbeit sein. Dieser Schaltplan dient der Simulationsmodellerstellung, mit der Fehler in der Automatisierungssoftware aufgefunden werden sollen und nicht übernommen werden dürfen. Aus diesem Grund kann die Automatisierungssoftware selbst nicht für die Modellerstellung herangezogen werden.

Bei der VIBN wird analog zu einer realen IBN die Automatisierungssoftware in verschiedenen Schritten getestet. Im ersten Schritt werden die Adressierung und die Vollständigkeit der Ein- und Ausgangssignale getestet. Im zweiten Schritt wird geprüft,

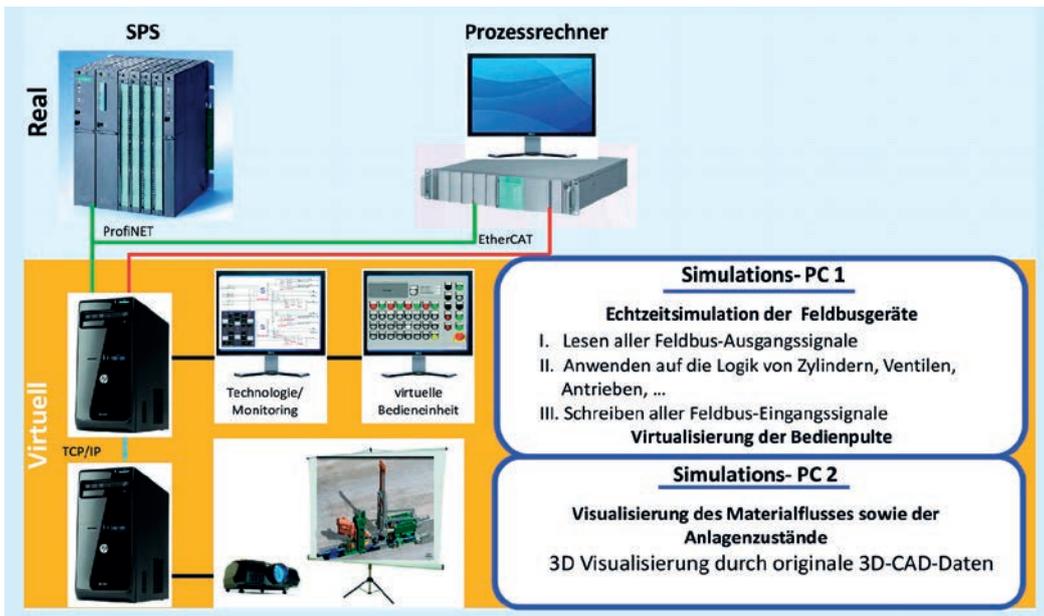


Bild 4: Simulationsmodell der RAW

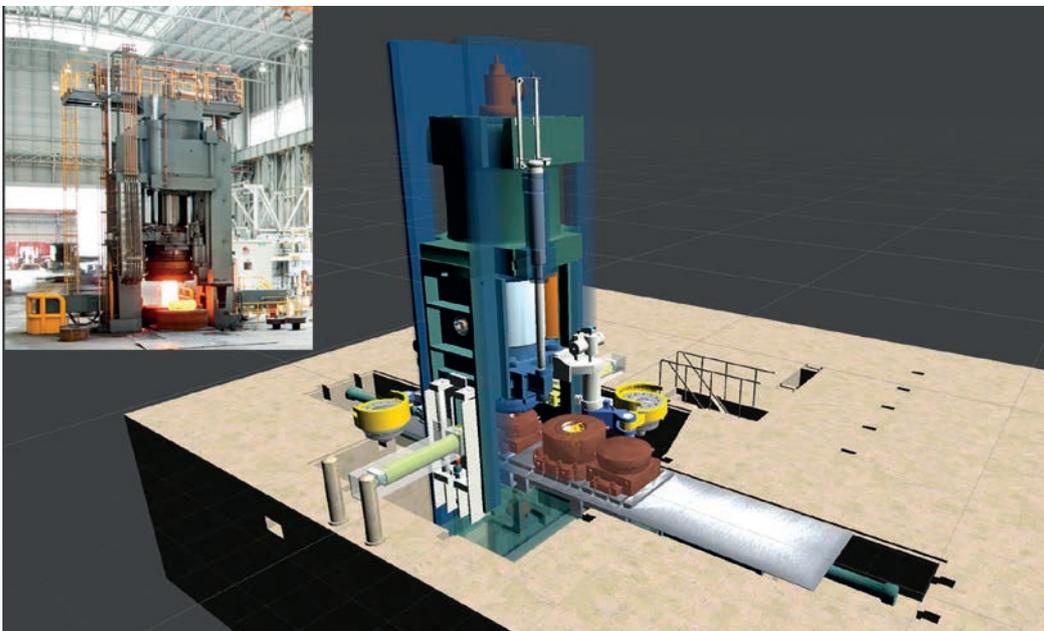


Bild 5: 3D-Modell der Ringrohlingpresse

ob die elektrischen Komponenten alle korrekt mit Spannung versorgt werden, bevor im dritten Schritt die Sicherheitsfunktionen der Anlage geprüft werden, beispielsweise die Verriegelung von Schutztüren. Mit dem vierten Schritt „Inbetriebnahme von Antrieben und Messsystemen“ erreicht man die größte Detaillierungstiefe bei der VIBN. Von hier an nimmt die Detaillierung in den nachfolgenden Schritten wieder ab, vergleichbar mit einer schrittweisen gröberen Sicht auf die Anlage. In Schritt fünf und sechs werden Einzelfunktionen im Handbetrieb mit und ohne Materialfluss und in Schritt sieben final der Automatikbetrieb getestet.

ECHTZEITKOPPLUNG

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, ein Simulationsmodell mit einer Automatisierungssoftware zum Zweck der Softwareprüfung zu koppeln. So kann beispielsweise das Simulationsmodell in einem zusätzlichen Task auf der Automatisierungshardware (Software in the Loop - SIL) oder auf einem externen Rechner ein Simulationstool ausgeführt werden, das über die

OPC-Schnittstelle die Verbindung zur Automatisierungshardware herstellt. Die Möglichkeiten sind inzwischen vielfältig. Bei der SMS group hat man sich für die HIL-Echtzeitsimulation mit Feldbuskopplung entschieden. Die Gründe hierfür sind:

- Die Automatisierungssoftware soll unverändert getestet werden können
→ HIL-Ansatz immer mit originaler Automatisierungshardware
- Der Simulationsansatz soll SPS-Typ-unabhängig sein (wegen großer Vielfalt im Kundenkreis)
- Die VIBN muss so realistisch wie nötig sein (deterministisches und reproduzierbares Modellverhalten).

Die Kopplung der Eingangs- und Ausgangssignale mit der jeweiligen Funktion beziehungsweise dem jeweiligen virtuellen Sensor/Signalgeber der Anlage ermöglicht das Testen der Steuerungssoftware. Der Schwerpunkt dieses Tests liegt in der Überprüfung der logischen Steuerung der Anlage. Dies erfordert häufig auch die Integration von Modellen zur physikalischen Wirkungsweise. Dies ist beispielsweise dann gege-



Bild 6: 3D-Modell der Ringwalzmaschine RAW



Bild 7: Schulung an der virtuellen Anlage
Bilder: Autoren

ben, wenn eine Steuerung online, das heißt in Echtzeit, physikalische Kenngrößen über Sensorik auf Plausibilität und in engen Grenzen prüft. Dies ist bei allen Regelvorgängen der Fall. Zu den Kenngrößen ist unter anderem der Druck in einer Hydraulikleitung zu zählen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass alle Modelle den Echtzeitanforderungen genügen müssen. Das Simulationsmodell bildet so eine Beschreibung der Anlage und ihrer Bewegungen, welche parallel in 3D mit Hilfe einer Game- und Physik-Engine visualisiert und animiert wird.

Wegen der zuvor genannten Vorteile wird die reale Steuerung mit der dazugehörigen Steuerungssoftware über das projektierte echtzeitfähige Bussystem mit der Simulation verbunden, sodass die Steuerung der Anlage nach dem HIL-Prinzip getestet werden kann (Bild 3). Aus Sicht der Steuerung ergibt sich danach kein Unterschied zur Realität. Auf diese Weise lassen sich ebenfalls die zum Anlagenteil gehörenden Steuerpulte beziehungsweise HMIs (Human Machine Interfaces) testen. Stehen diese nicht zur Verfügung, ist es möglich, sie ebenfalls zu simulieren und virtuell darzustellen.

ERGEBNISSE DER VIRTUELLEN INBETRIEBNAHME EINER RINGWALZANLAGE

Die in der VIBN getestete Ringwalzanlage bestand aus zwei Maschinen, der Ringrohlingpresse und der Radialaxialwalzmaschine (RAW). Beide Anlagenteile wurden separat virtuell in Betrieb genommen, wobei in beiden Fällen die Modelle alle erforderlichen Peripheriesignale umfassten, um die Anlagenfunktionen vollumfänglich abzubilden. Bei der RAW machte dies zusätzlich die Integration einer echtzeitfähigen physikalischen

Prozesssimulation nötig (Bild 4). Die Modelle umfassten jeweils auch ein 3D-Modell des Anlagenteils sowie die Visualisierung des Hauptsteuerpultes und der Nebenbedienstellen.

Bei der Ringrohlingpresse (Bild 5) kam eine komplett neu entwickelte Hydrauliksteuerung zum Einsatz, wodurch die VIBN für die beteiligten Entwickler von besonderer Bedeutung wurde. Durch diese bestand die Möglichkeit, am Modell die Software zu entwickeln und zeitgleich zu testen, was vom Entwicklungsteam intensiv in Anspruch genommen wurde. Es konnten im Vorfeld einige Unstimmigkeiten aufgedeckt werden, in Folge dessen auch der Komponentenlieferant bis zur realen IBN noch einige Entwicklungsarbeiten zu leisten hatte, die andernfalls erst auf der Baustelle aufgefallen wären und damit den IBN-Zeitplan mit Sicherheit gefährdet hätte.

Wie eingangs beschrieben, bestand bei der RAW (Bild 6) die Besonderheit, eine echtzeitfähige physikalische Prozesssimulation zu integrieren, damit überhaupt ein realitätsnaher Walzvorgang ablauffähig wurde. Dies ist bei allen prozessgeregelten Vorgängen erforderlich, da die Steuerung einer RAW „online“ den Vorschub des Ringrohlings, abhängig von den auftretenden Walzkräften (Drucksensoren im Hydraulikkreis) und der sich einstellenden Ringgeometrie (Lasersystem zur Messung der Lage und des Durchmessers des Rings), ständig regelt. Die auf einem Echtzeitbetriebssystem ausgeführte Physiksimulation lieferte eine Berechnungszeit, die kleiner als die SPS-Taskzeit war und unter Einhaltung des Echtzeitanpruchs ausreichende Genauigkeit, um die SPS-Software im Detail unter realistischen Randbedingungen testen zu können.

Die realen Hardware-Bedienpulte der Anlage, welche aus organisatorischen Gründen frühzeitig zur Baustelle gesendet werden mussten und somit für die VIBN nicht zur Verfügung standen, wurden komplett virtualisiert. Gemäß der Vorgaben in der Elektrodokumentation entstand so ein vollständiges virtuelles Abbild aller Bedienstellen, das sich somit auch sehr gut für die Mitarbeiter- und Kundenschulungen eignete. Da im Rahmen des Projekts auch ein junger Firmenmitarbeiter an die Bedienung der Anlage herangeführt werden sollte, konnte das entwickelte Simulationsmodell im Anschluss an die VIBN für die Schulung sehr effizient genutzt werden.

Auch diese VIBN der Ringwalzanlage zeigt, dass sich der Aufwand für die Simulationserstellung lohnt. Zum wiederholten Mal konnte Zeit bei der IBN eingespart werden, auch wenn es schwierig ist, diese genau zu beziffern, da im Sondermaschinenbau keine Anlage der anderen gleicht. Häufig müssen Kundenwünsche noch im späten Abwicklungsstadium berücksichtigt werden, die Inbetriebnehmer und Unterteilnehmer wechseln häufig, und auch der Installationsort mit seinen örtlichen Besonderheiten variiert stark. Allein der Umstand, in einer zur Baustelle vergleichsweise ruhigen Umgebung konzentriert und ungestört arbeiten zu können, ferner durch Knopfdruck direkten Zugang zu allen relevanten Anlagenteilen zu haben, sowie durch die zeitliche Verlagerung der VIBN zur IBN nicht unter den gewöhnlichen Zeitdruck auf der Baustelle beim Kunden zu geraten, erhöht die Qualität der Softwareentwicklung und -prüfung in erheblichem Maße und rechtfertigt den Aufwand für die Simulationserstellung.

Neben diesen Vorteilen liefert eine Simulation auch ein Fülle von positiven Soft-Facts, die sich auch bei dieser VIBN bemerkbar machten und sich nur schwer direkt in Geld aufwiegen lassen: In diesem Zusammenhang sind die Bediener-schulung auf Basis der Simulation und die Protokollierung der Ein- und Ausgabesignale (Erstellung von Musterdiagrammen) zur Prüfung von Taktraten zu nennen. Letztere dient ebenfalls zur Nachstellung und späteren Analyse von Anlagenfehlverhalten, beispielsweise bei Fernwartung.



[1] Klingauf, W.: Fachbeitrag „Ein Schritt weiter in der virtuellen Welt“ in „WB Werkstatt + Betrieb“, Hanser Verlag, Ausgabe 07/2013



SMS group GmbH
Ohlerkirchweg 66
41069 Mönchengladbach
Telefon: +49 2161 350 0
Telefax: +49 2161 350 1667
E-Mail: info@sms-group.com
Internet: www.sms-group.com