

Foto: V-Research

Robert Schöch, Ruth Fleisch, Alexander Walch

## Virtuelle Planung und Inbetriebnahme von Produktionsanlagen

### Ein modellbasierter Ansatz für den Anlagenbau

Haben Sie sich schon einmal vergegenwärtigt, von wie vielen Faktoren es abhängt, dass Sie Ihre Maßküche innerhalb kürzester Zeit nach Bestellung geliefert bekommen? Um dies produktionsseitig möglich zu machen, kommen heute in Produktionslinien organisierte, hochkomplexe Anlagen zum Einsatz. Um den Materialfluss in solchen Produktionslinien optimal zu gewährleisten, wird schon zum Zeitpunkt ihrer Planung alles genau durchgespielt – mit Hilfe spezieller Planungs- und Analysewerkzeuge, die abgesicherte Kennzahlen über die Leistungsfähigkeit von Anlagen liefern. Ein Werkzeug, das die virtuelle Planung und Inbetriebnahme ganzer Plattenaufteilanlagen ermöglicht, wurde von V-Research im Auftrag des Herstellers von Plattenaufteilanlagen Schelling Anlagenbau entwickelt.

#### „Produktion von Küchen nach Maß auf Anlagen nach Maß“

Bis eine Küche nach Maß dem Kunden geliefert werden kann, ist eine Vielzahl unterschiedlicher Fertigungsschritte notwendig, die zum größten Teil erst nach Auftragseingang durchlaufen werden. Um dennoch kurze Lieferzeiten zusichern zu können, steigt der Automatisierungsgrad in der Fertigung, was auch im Hinblick auf die Produktionskosten Vorteile bringt, insbesondere in Hochlohnländern. Andererseits bedingen kundenindividuelle Fertigung und Automatisierung in der Möbelindustrie eine höhere Komplexität der Produktionslinien. Für deren Planung fordern Betreiber solcher Lini-

en von den Anlagenlieferanten garantierte Leistungskennzahlen bezüglich der Produktionskapazität.

Auf diese Problematik wird aus der Sicht von Anlagenbauern, die jeweils einen Teil einer Produktionslinie liefern, näher eingegangen. Im vorliegenden Artikel wird exemplarisch dargestellt, wie ein Hersteller von Plattenaufteilanlagen die Planungssicherheit durch exakte Ermittlung von Leistungsdaten wie Durchsatz und Auslastung deutlich erhöhen konnte, um sowohl Übers als auch Unterdimensionierung und die dadurch entstehenden Folgekosten zu vermeiden.

Plattenaufteilanlagen werden eingesetzt, um Platten aus Holzwerkstoffen mittels Sägen in die gewünschten For-

mate aufzuteilen, die fertigen Teile zu sortieren und zu stapeln. Diese Prozesse werden von verschiedenen Typen von Maschinen, wie zum Beispiel Längs- und Quersägen, Sortierwagen, Dreh- und Stapelgeräten oder Rollenbahnen, voll automatisiert durchgeführt.

Plattenaufteilanlagen sind durch einen hohen Grad strukturbedingter Komplexität geprägt, da es zur Erfüllung der individuellen Anforderungen von Anlagenbetreibern unerlässlich ist, sie in großer Variantenvielfalt anzubieten. Diese wird durch die Kombination einzelner Baugruppen zu Maschinen und von Maschinen zu Plattenaufteilanlagen nach dem Baukastenprinzip erreicht. Darüber hinaus weisen Plattenaufteilanlagen ein dynamisches

Verhalten auf, dessen Komplexität bei Anlagen, die in der Auftragsfertigung zum Einsatz kommen, ungleich höher ist im Vergleich zu Anlagen, die ausschließlich für die Massenfertigung entwickelt werden. Kundenspezifische Produktion bedeutet kleine Losgrößen bis hin zu Losgröße 1. Um trotzdem den Verschnitt gering zu halten, erhöht sich der Komplexitätsgrad der Schnittpläne. Abbildung 1 stellt einen einfachen Massenfertigungsschnittplan einem aufwändigeren Schnittplan zur Auftragsfertigung gegenüber.

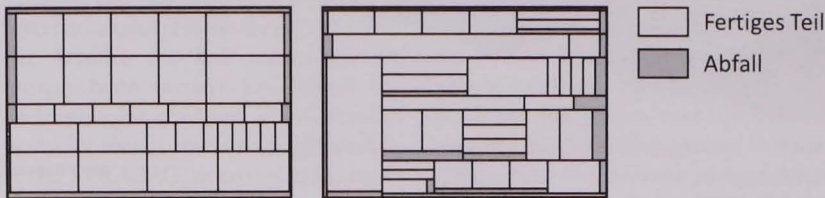


ABBILDUNG 1: EINFACHER (LINKS) UND KOMPLEXERER SCHNITTPLAN EINER PLATTE

Die Platte, deren Schnittplan links in Abbildung 1 zu sehen ist, kann problemlos auf einer klassischen Plattenaufteilanlage mit linearem Materialfluss bearbeitet werden: zuerst wird sie auf der Längssäge in Streifen geschnitten, die anschließend auf der Quersäge weiter aufgeteilt werden. Es ist jedoch nicht möglich, Platten mit komplexeren Schnittplänen, wie auf der rechten Seite abgebildet, auf einer herkömmlichen Anlage effizient zu produzieren. Deshalb wurde das Anlagenlayout dahingehend geändert, dass der Materialfluss nun Rückführungen aufweist. Das bedeutet im Kontext von Plattenaufteilanlagen, dass eine Platte beziehungsweise Teile davon, die bereits auf einer Säge geschnitten worden sind, über eine Rückführstrecke erneut derselben Säge für ihre weitere Aufteilung zugeordnet werden können – und das beliebig oft. Diese Rückführungen stellen indessen eine besondere Herausforderung für die Anlagensteuerung dar, da sie unaufhebbare Blockierungen der gesamten Anlage oder bestimmter Teile verursachen können. Ein blockierungsfreier Betrieb der Anlage bei gleichzeitiger hoher Auslastung der Sägen muss aber garantiert werden.

Die aufgezeigte Komplexität von Plattenaufteilanlagen hat zur Folge, dass Ansätze zur Ermittlung der Produktionskapazitäten mit statischen Formeln die Planungssicherheit nicht

ausreichend gewährleisten können, da wechselseitige Abhängigkeiten der Anlagenprozesse und detaillierte Zeitverläufe unberücksichtigt bleiben.

### Emulation von Anlagen

Mit dem Ziel, Experten im Anlagenbau ein leistungsfähiges Planungsinstrument an die Hand zu geben, hat V-Research in einem gemeinsamen Projekt mit der Schelling Anlagenbau ein Softwaresystem entwickelt, das die Emulation von Plattenaufteilanlagen

ermöglicht. Emulation ist ein Spezialfall der Simulation und bedeutet hier, dass die Gesamtanlagensteuerungssoftware, die später auch in Verbindung mit der realen Anlage in Verwendung ist, an ein virtuelles Modell der Plattenaufteilanlage angebunden ist und dieses steuert. So erhält man ein sehr realitätsnahes Planungs- und Analysewerkzeug.

Die Steuerung einer Plattenaufteilanlage erfolgt mittels eines zentralen hierarchischen Systems. Die Software, die die gesamte Anlage steuert (obere Ebene), schickt Aufträge an die speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) der einzelnen Maschinen (mittlere Ebene). Die SPS dient dann wiederum der Steuerung der Maschine

beziehungsweise ihrer mechanischen Komponenten (untere Ebene).

Die beiden letzteren Schichten sind nun virtuell abgebildet worden: die virtuelle mittlere Schicht, die das Analogon zur SPS-Ebene bildet, und das Simulationsmodell, das die Maschinen und deren mechanische Komponenten visualisiert und die Bewegungen im Zusammenhang mit Materialbearbeitung und -transport darstellt.

Nach Start eines Emulationslaufes sendet die Gesamtanlagensteuerung sogenannte Aufträge, die basierend auf Produktionslosen mit zugehörigen Schnittplänen sowie Sortier- und Stapeldaten für die aufzuteilenden Platten erzeugt werden, an die virtuelle mittlere Schicht. Diese teilt einen Auftrag in eine Folge von Tasks auf. Ein einzelner Task steht für einen Arbeitsschritt wie zum Beispiel „Senken des Druckbalkens“ im Auftrag „Sägen“. Die Sequenz von Tasks wird anschließend von der mittleren Schicht an das Simulationsmodell übermittelt, das mit Hilfe einer Software für ereignisdiskrete Simulation implementiert ist. Im Simulationsmodell werden die Tasksequenzen den entsprechenden Maschinen zugeteilt und in Ereignisse transformiert, wodurch wir eine dreidimensionale Visualisierung der Abläufe in der Plattenaufteilanlage erzielen (siehe Abbildung 2). Nach Abarbeitung der Tasks eines Auftrags erfolgt über die mittlere Schicht dessen Bestätigung an die Anlagensteuerung. In Abhängigkeit davon wird die Generierung neuer Aufträge ausgelöst.

Um die Handhabung des Emulationswerkzeuges für Experten im Anlagenbau, wie beispielsweise technisches

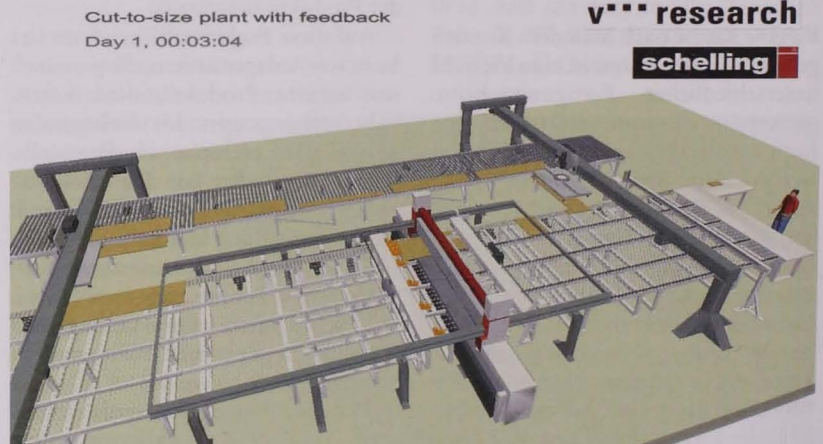


ABBILDUNG 2: 3D-VISUALISIERUNG EINER PLATTENAUFTEILANLAGE

Vertriebspersonal, die nicht über spezielles Simulationswissen verfügen, zu vereinfachen, dient eine grafische Benutzeroberfläche, „Studio“ genannt, der Modellierung der Plattenaufteilanlage, der Analyse der erfassten Ergebnisdaten sowie der Verwaltung der verschiedenen Modelle.

Hier kann in einem grafischen Editor mit Hilfe von Vorlagen einzelner Baugruppen und Maschinen ein Systemmodell der Anlage nach dem Baukastenprinzip zusammengefügt und parametrisiert werden. Die Einstellungen umfassen sowohl prozessrelevante und mechanische Informationen und diverse Geschwindigkeiten als auch Meta-Informationen für die Instanziierung der Komponenten in beiden Ebenen des virtuellen Modells. Der Materialfluss durch die Anlage ergibt sich durch das Aneinanderfügen der einzelnen Maschinen unter Zuhilfenahme einer Snap-Funktion.

Ist das Systemmodell der zu betrachtenden Anlage erstellt, wird vom Studio aus ein Emulationslauf gestartet. Die Transformation des Systemmodells in das Simulationsmodell und auch die Instanziierung der Klassen in der virtuellen mittleren Schicht erfolgen dabei automatisiert.

Die während des Emulationslaufes erfassten und gesammelten Daten stehen danach für die Analyse im Studio zur Verfügung.

### Nutzenpotenzial

Der Anlagenbauer ist bestrebt, das Potenzial des modellbasierten Ansatzes für die Planung und Inbetriebnahme vermehrt zu nutzen (siehe oben: Systemmodell und Simulationsmodell). Durch Abbildung realer Produktionslose lässt sich die Leistung von Maschinen und Anlagen exakt ermitteln. Dabei liegt der Hauptnutzen in der Auslastungs- und Engpassanalyse, die eine hohe Planungssicherheit für gewünschte Produktionskapazitäten zulassen. Dadurch sind Fehlerfolgekosten vermeidbar, die typischerweise umso höher sind, je später ein Fehler entdeckt wird.

Basierend auf Systemanforderungen eines namhaften Küchenbauers, der als Early Adopter seine Offenheit gegenüber Innovationen demonstriert, wurde der Nutzen dieses neuartigen Ansatzes

in einer Fallstudie klar verifiziert: Mit drei System- und entsprechenden Simulationsmodellen, die verschiedene Varianten einer Plattenaufteilanlage darstellen, erfolgte eine exakte Analyse der Auslastung und der Schnittstellen zu den vor- und nachgelagerten Produktionsprozessen. Diese Analyse konnte zeigen, dass nicht die schnellste (und teuerste) Anlage sich am besten in die geplante Produktionslinie einfügt – mit offensichtlichen Vorteilen für den Betreiber der Produktionslinie. Abbildung 3 zeigt die Durchlaufzeit eines Produktionsloses für die drei ver-

vorherrscht und andererseits Anlagen kundenspezifisch nach Auftragserteilung zu fertigen sind.

Aufgrund der Anbindung der Steuerung an das virtuelle Modell lässt sich die Anlagensteuerung bereits vor dem Bau der tatsächlichen Anlage anhand plausibler Schnittpläne für produktionslose testen, bewerten und anpassen. Dies führt zur Reduktion von Inbetriebnahmezeiten und -kosten.

Insgesamt trägt das beschriebene Planungs- und Analysewerkzeug entscheidend zur Steigerung der Qualität von Plattenaufteilanlagen bei und ist

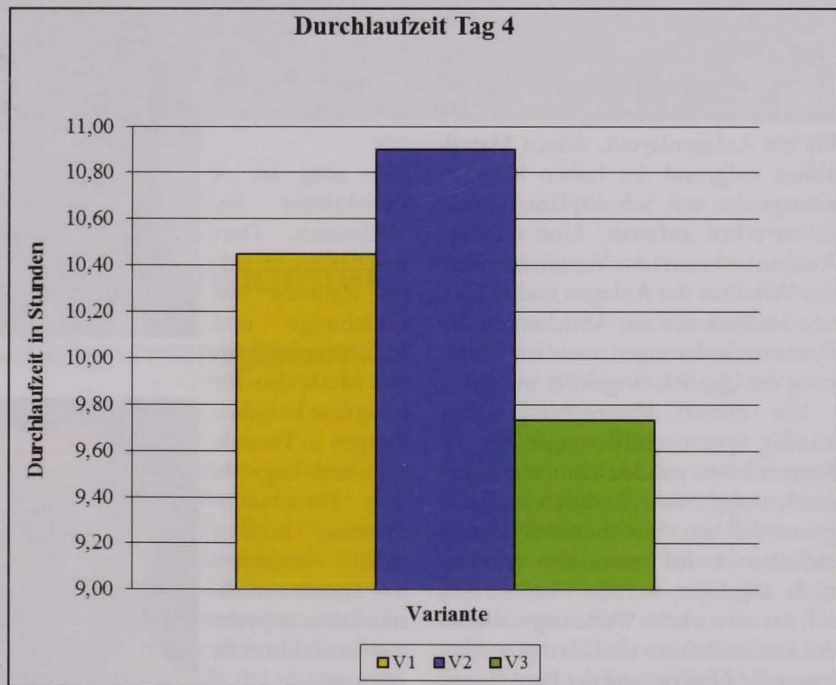


ABBILDUNG 3: VERGLEICH VON DURCHLAUFZEITEN

schiedenen Modelle auf, ohne näher die Schnittstellen der Systemgrenzen und -kosten zu visualisieren.

Ein weiteres Nutzenpotenzial des modellbasierten Ansatzes ist durch die detaillierte Nachvollziehbarkeit der ermittelten Leistungskennzahlen gegeben. Zeitverläufe von zuvor mit dem Anlagenbetreiber definierten Produktionslosen lassen sich messen und wiederholbar aufzeigen. Die Darstellung der Anlagendynamik durch dreidimensionale Visualisierung und die transparente Form der Ergebnispräsentation trägt sehr zum Aufbau einer Vertrauensbasis zwischen Anlagenbauer und -betreiber bei. Dies ist vorteilhaft, da einerseits ein ausgeprägtes Know-How-Gefälle zwischen den Partnern

mittlerweile beim Anlagenbauer ein wesentlicher Erfolgsfaktor in der Unterstützung des Fertigungsprozesses mit definierten „Quality Gates“ geworden.

Die Besonderheit des Emulationsansatzes ist durch die Kopplung des Simulationsmodells mit der tatsächlichen Anlagensteuerungssoftware gegeben. Auf diese Weise ist eine Realitätsnähe gegeben, die im Falle der Verwendung reiner Simulationsmodelle nur durch die vollständige Simulation auch der Anlagensteuerungssoftware möglich wäre, was mit erheblichem Mehraufwand einhergehen würde. Mit Methoden der statistischen Simulation ist die beschriebene Genauigkeit, aber auch die Nachvollziehbarkeit schlicht nicht erreichbar.

**Weiterführende Aussagen und Perspektiven**

Die Wettbewerbsfähigkeit des Weltmarktführers für Plattenaufteilanlagen zeichnet sich durch qualitativ hochwertige Anfertigung komplexer Anlagen aus. Das entwickelte Werkzeug trägt dazu bei, diese Kompetenz auszubauen und abzusichern. Beim Bau solcher Anlagen liegt der Fokus in der Planung und Realisierung eines automatisierten Zuschnitts von Platten und Plattenteilen, wobei Eigenschaften wie Schnittdauer, Auslastungsgrad, Format und Verschnitt einen besonderen Stellenwert haben.

Die frühe Absicherung des gesamten Funktionsablaufes einer Anlage ist von zentraler Bedeutung, insbesondere für ein Anlagenlayout, dessen Materialfluss aufgrund des hohen Komplexitätsgrades von Schnittplänen Rückführstrecken aufweist. Eine ständige Analyse verbessert das Verständnis über das Verhalten der Anlagen und es können Maßnahmen zur Absicherung der Systemanforderungen sowie zur Steigerung der Qualität eingeleitet werden.

Vor diesem Hintergrund sollen künftig Systemanforderungen für die Konstruktion von Maschinen aus den Analyseergebnissen und den im Anlagenmodell (s.o. Systemmodell) bereits enthaltenen Informationen automatisch abgeleitet werden. Andererseits soll das entwickelte Werkzeug während des Konstruktions- und Fertigungsprozesses die Absicherung der Funktionen der einzelnen Maschinen im Kontext der gesamten Anlage unterstützen. Es wird angestrebt, das System- bzw. Anlagenmodell automatisiert aus den vorhandenen Konstruktionsinformationen (in Form von mit Zusatzinformationen angereicherten CAD-Modellen) zu erstellen. So wird der modellbasierte Ansatz auf einen Dreischritt erweitert: CAD-Modell, Systemmodell, Simulationsmodell. Durch automatisierte Konsistenzwahrung sowie durch transparente Wiederverwendung der in den Modellen enthaltenen Informa-

tionen jeweils für die folgende Modellebene werden so entscheidende Vorteile realisiert.

*Autoren:*

**Robert Schöch** studierte Informatik an der Johannes Kepler Universität Linz und absolvierte das berufsbegleitende Masterprogramm Integrated Product Development an der Fachhochschule Vorarlberg.

Seit 2005 ist er Projektleiter bei V-Research. Dort beschäftigt er sich im Rahmen von Forschungs- und Industrieprojekten mit Methoden für komplexe Entscheidungen in Produktion und Logistik. Sein Forschungsinteresse umfasst dabei besonders das Thema simulationsbasierte Systeme für industrielle Prozesse.

**Ruth Fleisch** studierte Technische Mathematik an der Universität Innsbruck. Seit 2010 ist sie als Forschungsingenieurin bei der V-Research tätig. Im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit beschäftigt sie sich mit den Themen Simulation und Optimierung.

**Alexander Walch** studierte Fertigungsautomatisierung an der Fachhochschule Vorarlberg und absolvierte das



**Dipl.-Ing.  
Robert Schöch, MSc**  
Projektleiter  
V-Research



**Dipl.-Ing.  
Ruth Fleisch**  
Projektmitarbeiterin  
V-Research



**Dipl.-Ing. (FH)  
Alexander Walch,  
MSc**  
Leiter F&E Schelling  
Anlagenbau

berufsbegleitende Masterprogramm Integrated Product Development an der Fachhochschule Vorarlberg.

Seit 2004 leitet er die Softwareentwicklung bei Schelling Anlagenbau. Anfang 2014 hat er die Leitung der Forschungs- und Entwicklungsabteilung übernommen. 2009 gab er den Anstoß zur Entwicklung eines Simulationswerkzeuges für Plattenaufteilanlagen.