

Simulationsbasierte Karosseriebauplanung

# Schnelle Analyse und Optimierung von Fertigungslinien

**Thomas Bierwirth, Wolfsburg, und Sven Speickermann, Maintal**

Die Simulation ist ein seit Jahren etabliertes Werkzeug für die Fertigungsplanung. Dennoch nehmen die Modellierung und das Optimieren von Fertigungskonzepten mit Hilfe der Simulation häufig immer noch viel Zeit in Anspruch. Je nach Fertigungsstruktur sind moderne analytische Verfahren eine Alternative oder eine Ergänzung zum Simulationseinsatz. Beschrieben wird ein Anwendungsbeispiel aus der Karosseriebauplanung in der Automobilindustrie.



Bild 1

Im Karosseriebau bei VW werden Radhäuser und Dachquerträger der Karosserie verschweißt. *Bild: VW*

In den frühen Planungsphasen (Konzeptplanung) ähneln sich die Aufgabenstellungen der Fertigungsplanung in vielen Industriezweigen, auch im Karosseriebau, **Bild 1**, sehr: Für die in **Bild 2** skizzierten konvergierenden (Montage-)Strukturen oder für lineare Verkettungen sind

Aussagen über die notwendigen Pufferplätze zwischen den einzelnen Stationen zu treffen. Vorgegeben ist typischerweise ein definierter Durchsatz, der mit dem System produziert werden soll. Weitere zu berücksichtigende Parameter sind Taktzeiten und Verfügbarkeiten der einzelnen Stationen.

In vielen Planungsabteilungen ist heute die Simulation ein wichtiges Hilfsmittel bei der Auslegung derartiger Fertigungssysteme. Die Vorgehensweise ist,

unabhängig vom verwendeten Simulationssystem, meist wie folgt: Zunächst wird das System im Simulator mit Hilfe vordefinierter Bausteine nachgebildet. Das wird dadurch erleichtert, dass der Reifegrad vieler Simulationswerkzeuge beziehungsweise der dazugehörigen anwendungsspezifischen Bausteinkästen mittlerweile sehr hoch ist. So kann die Modellierung von Konzeptstrukturen häufig in wenigen Tagen oder sogar Stunden erfolgen. Nach der Modellierung werden in Experimenten die Puffergrößen und gegebenenfalls weitere Parameter für das zu planende System ermittelt. Dabei wird im günstigeren Fall ein Experimentplan aufgestellt und befolgt. Oft werden jedoch bestimmte Systemkonfigurationen mehr oder weniger intuitiv eingestellt und ausprobiert. Diese manuelle Suche nach guten Systemkonfigurationen nimmt unter anderem deshalb viel Zeit in Anspruch, weil ein Simulationslauf auch für einfache Strukturen meist einige Minuten (oder länger) dauert. Vor allem aber ist der Prozess bei manuellen Starts der Simulationsexperimente und an-

## Autoren

Dr. **Sven Speickermann**, Jahrgang 1967, gehört zum Vorstand der SimPlan AG, Maintal, und ist dort unter anderem verantwortlich für die Leitung von Projekten und für das Innovationsmanagement.

Dipl.-Wirt. Ing. **Thomas Bierwirth**, Jahrgang 1973, arbeitet seit 1999 für den Volkswagen-Konzern in der Abteilung IS Virtuelle Fabrik- und Fertigungsplanung, Wolfsburg. Er beschäftigt sich mit der Einführung neuer Technologien der Fabrik- und Fertigungsplanung. Als Projektleiter betreut er das Teilprojekt „Digitale Fabrik Logistik“ sowie die Einführung von Prozessplanungswerkzeugen in der Montageplanung.

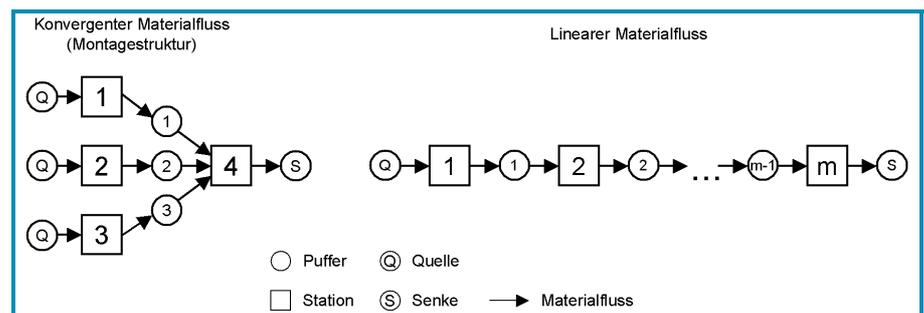


Bild 2

Grundstrukturen von Fertigungssystemen.

schließender manueller Auswertung vergleichsweise aufwendig.

Zudem führt diese Vorgehensweise bestenfalls zufällig zu einer (im mathematischen Sinne) optimalen Lösung. Nun ist in der Planungspraxis die Bedeutung eines „mathematischen Optimums“ ohnehin nicht zu hoch einzustufen. Trotzdem ist eine Beschleunigung der manuellen simulationsbasierten Suche nach guten Systemkonfigurationen wünschenswert und mit Hilfe der im folgenden Abschnitt skizzierten ergänzenden Methoden und Werkzeuge auch möglich.

### Verbesserte Lösungsansätze

Eine Möglichkeit, die Parameteroptimierung zu beschleunigen, bietet die Kombination von Simulation mit überlagerten Optimierungsverfahren. Als Schlagworte sind Methoden wie Genetische Algorithmen, Tabu Search oder Sintflutalgorithmus zu nennen. Einführungen in diese Verfahren finden sich beispielsweise in [1].

Unabhängig vom verwendeten Verfahren folgt das Grundprinzip simulationsbasierter Optimierung meist dem in **Bild 3** dargestellten Schema. Die Lösungssuche wird nicht mehr manuell gesteuert, sondern durch das überlagerte Optimierungsverfahren geleitet. Auf diese Art und Weise kann ein Optimierungsvorgang beispielsweise Abends gestartet werden. Am folgenden Morgen lassen sich dann die dabei ermittelten besten Systemkonfigurationen beurteilen.

Dieses Prinzip, das mittlerweile auch von vielen Softwareanbietern unterstützt wird (wie der „Witness-Optimizer“ für Witness, „Issop“ für Arena oder „eM-Plant/GA“ für eM-Plant), hat immer noch einen entscheidenden Nachteil: Die Auswertung der jeweiligen Systemkonfiguration erfolgt ausschließlich mit Hilfe des Simulators und nimmt viel Rechenzeit in Anspruch.

Die Forschung hat nun in den letzten Jahren warteschlangenbasierte analytische Verfahren zur praktischen Einsatzreife gebracht, die zu einer weiteren nachhaltigen Verbesserung der Konzeptauslegung führen können. Mit Hilfe dieser Verfahren und der darauf basierenden Softwarewerkzeuge lassen sich lineare und zum Teil auch konvergierende Strukturen schnell und einfach abbilden. Das Optimieren der Pufferanzahl beansprucht selbst für Strukturen mit einer großen Anzahl von Stationen nur wenig Rechenzeit.

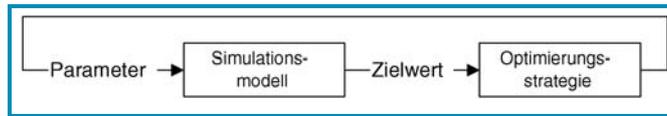


Bild 3

### Grundprinzip simulationsbasierter Optimierung.

Eines der in dieser Hinsicht am weitesten fortgeschrittenen Softwarewerkzeuge ist „FlowEval“, von Prof. Dr. Horst Tempelmeier an der Universität Köln entwickelt. Die einfache Anwendbarkeit zeigt **Bild 4**. In der oberen Hälfte sind die Daten (Taktzeiten, Verfügbarkeiten, Größen der vorgelagerten Puffer) eines linear verketteten Fertigungssystems mit zehn Stationen enthalten. Die untere Hälfte zeigt die für diese Struktur ermittelten Kenngrößen wie Wartezeiten oder Störzeiten je Station.

Im Vergleich zur Simulation gibt es – vereinfacht dargestellt – sowohl einen großen Vor- als auch einen großen Nachteil. Der Vorteil ist die viel höhere Geschwindigkeit beim Auswerten einer Systemkonfiguration. Hierzu benötigt FlowEval nur Sekundenbruchteile. Mit dem integrierten Optimierungsverfahren lassen sich für lineare Strukturen auf diesem Weg in vielen Fällen Lösungen ermitteln, die besser sind als die Lösungen, die bei simulationsbasierter Optimierung gefunden werden.

Der Nachteil liegt in der Beschränkung warteschlangenbasierter Anwen-

dungen auf bestimmte Fertigungsstrukturen. Diesbezüglich bietet eine Simulationsanwendung deutlich mehr Flexibilität. Mit Hilfe einer geeigneten Integration von Simulation und warteschlangenbasierter Optimierung lassen sich jedoch die Vorteile

beider Ansätze kombinieren, wie das folgende Beispiel aus der Konzeptplanung von Fertigungsstrukturen im Automobilrohbau zeigt.

### Anwendungsbeispiel

In den frühen Phasen der Karosseriebauplanung geht es um die Auslegung von Strukturen, wie sie in **Bild 5** zu sehen sind. Neben dem Festlegen von Puffergrößen zur Entkopplung der Fertigungsbereiche sind auch Vorgaben für die Taktzeiten der einzelnen Bereiche zu machen. Die Puffergrößen sollen minimiert werden, während die Taktzeiten unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit möglichst so gewählt werden sollen, dass die spätere detaillierte Planung so wenig wie möglich eingeengt wird. Vorgegeben sind typischerweise die tägliche Arbeitszeit und die in dieser Zeit zu erzielende Produktionsmenge.

Diese Problemstellung, die unter anderem in [2] und [3] eingehend diskutiert wird, lösen beispielsweise BMW oder VW mit Hilfe simulationsbasierter Optimierung. Das führt allerdings zu den bereits

Station	Bestand	Puffer	Ergebnis	Wartezeit	Störzeit	blockiert	gerollt
1	54	0	0,000	0,2430	0,2503	0,7300	0,0270
2	56	1	0,125	0,2430	0,3566	0,4936	0,0260
3	54	1	0,454	0,2520	0,3668	0,3232	0,0290
4	56	1	0,125	0,2430	0,3762	0,2638	0,0270
5	54	1	0,982	0,2520	0,3537	0,3663	0,0260
6	56	1	0,949	0,2610	0,3763	0,2317	0,0260
7	56	1	11,463	0,2430	0,3568	0,2742	0,0270
8	54	0	3,783	0,2475	0,4624	0,2566	0,0275
9	55	0	0,000	0,2610	0,3741	-	0,0190
10	50	0	0,000	0,2610	0,3741	-	0,0190

Bild 4

### „FlowEval-Screenshot“ eines Systems mit zehn Stationen.

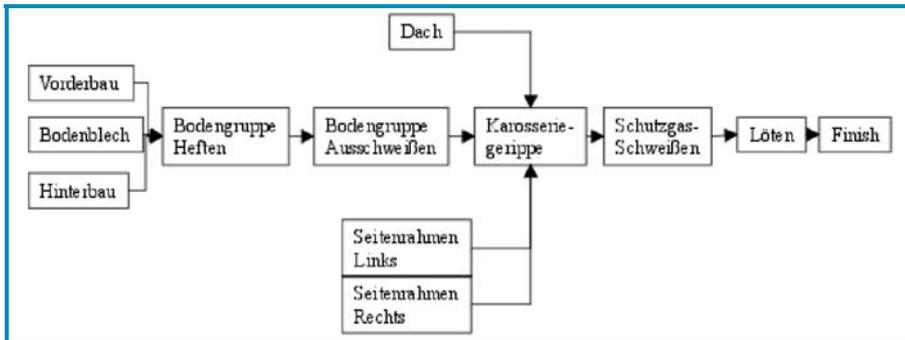


Bild 5

**Exemplarische Grobstruktur eines Automobilrohbaus mit zwölf Fertigungsbereichen.**

Bild (4): Sim Plan

beschriebenen langen Rechenzeiten. So sind zum Optimieren einer Struktur, wie sie in Bild 4 dargestellt ist, etwa 12 h bis 18 h erforderlich.

Durch eine Kombination mit warteschlangenbasierten Verfahren lassen sich diese Rechenzeiten deutlich verkürzen. Dazu kann beispielsweise die konvergente Struktur in Bild 4 in sechs lineare Teilstrukturen zerlegt werden. Vor jedem Simulationslauf werden dann die Daten der linearen Strukturen mit FlowEval bewertet. Wenn nun eine dieser Teilstrukturen – etwa in Bild 4 die Kette vom Vorderbau zum Finish – nicht in der Lage ist, die gewünschte Ausbringung zu erreichen, dann ist die Bewertung der gesamten Lösung durch Simulation

nicht mehr notwendig. Auf diese Weise kann viel Rechenzeit eingespart werden beziehungsweise in der gleichen Rechenzeit sind bessere Systemkonfigurationen ermittelbar.

VW hat im Bereich der Karosseriebauplanung mit warteschlangenbasierter Optimierung gute Erfahrungen sammeln können, so dass die Anwendung dieser Technologie mittlerweile auf eine Reihe anderer Planungsaufgabenstellungen ausgedehnt worden ist. Zu den Planungsaufgaben, bei denen das Werkzeug FlowEval heute hilft, gehören neben der Dimensionierung des Rohbaus zum Beispiel die Auslegung von Teilen des Lackierprozesses sowie die Analyse linearer Fertigungsstrukturen für den Aggregatbereich.

**Zusammenfassung**

Das Festlegen von Puffergrößen bei der Konzeptplanung ist eine Problemstellung, mit der sich Planer in vielen Branchen auseinander setzen. Neben der Automobil- und Automobilzulieferbranche gehören dazu die Elektronikindustrie, die Nahrungsmittelindustrie und zahlreiche weitere Industriezweige. Zur Lösung des Problems kommen heute überwiegend Simulationen zum Einsatz. Beispiele zeigen aber, dass Simulationsanwendungen mit dem ergänzenden Einsatz warteschlangenbasierter Verfahren erheblich an Qualität und Geschwindigkeit gewinnen.

**Literatur**

[1] Reeves, C.R. (Hrsg.): *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. Blackwell: Halsted, 1993.  
 [2] Bierwirth, T.: *Optimierung von simulations- und warteschlangenbasierten Modellen in der Karosseriebauplanung zur Absicherung des Materialflusses*. In: Noche, B.; Witt, G. (Hrsg.): *Anwendungen zur Simulationstechnik in Produktion und Logistik*. SCS-Europe, Ghent, 2002; S. 179–189.  
 [3] Spieckermann, S.; Gutenschwager, K.; Heinzl, H.; Voß, S.: *Simulation-based Optimization in the Automotive Industry - A Case Study on Body Shop Design*. *Simulation* 75 (2000), Nr. 5, S. 276–286.