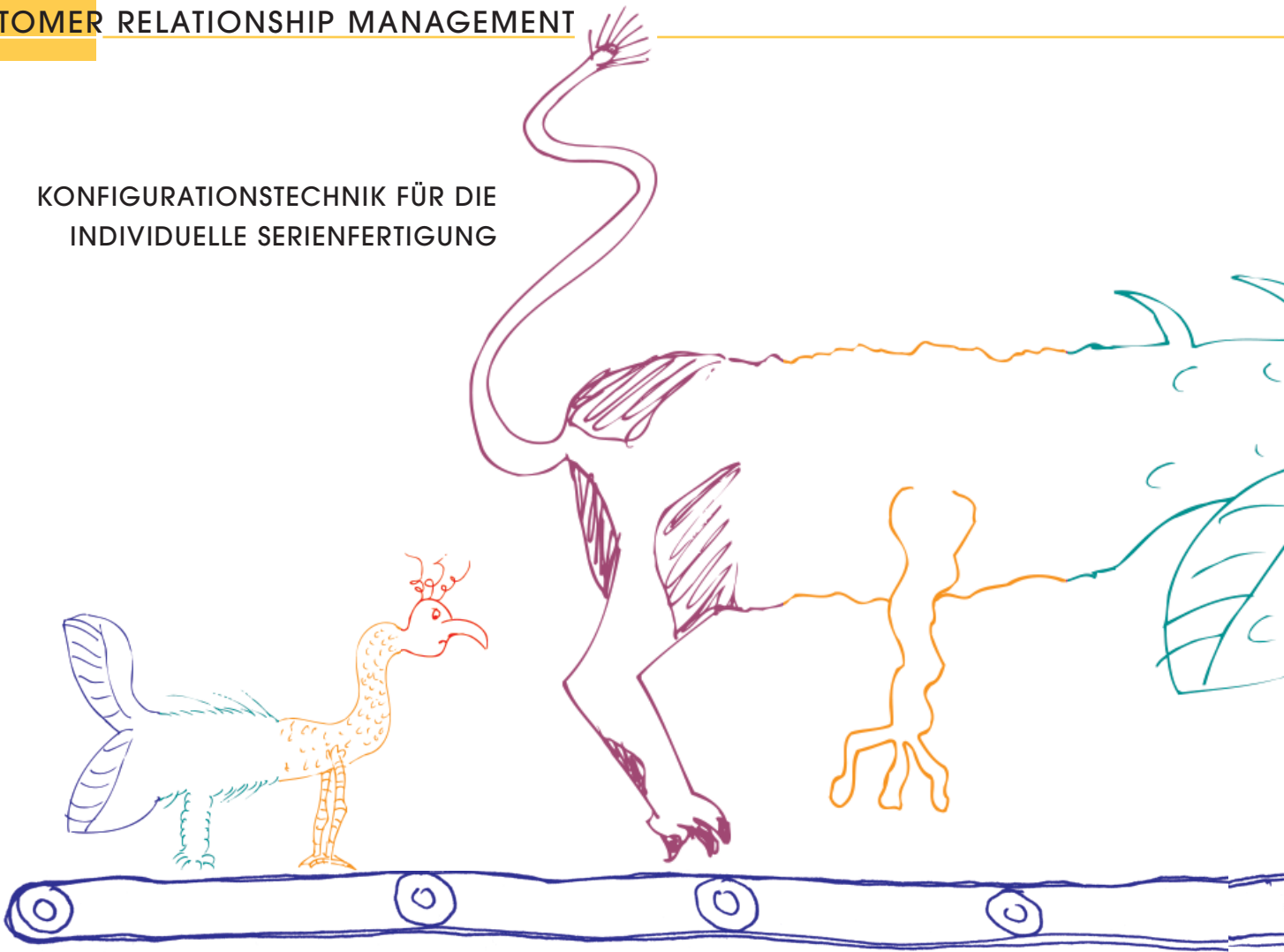


KONFIGURATIONSTECHNIK FÜR DIE INDIVIDUELLE SERIENFERTIGUNG



MASSGESCHNEIDERT

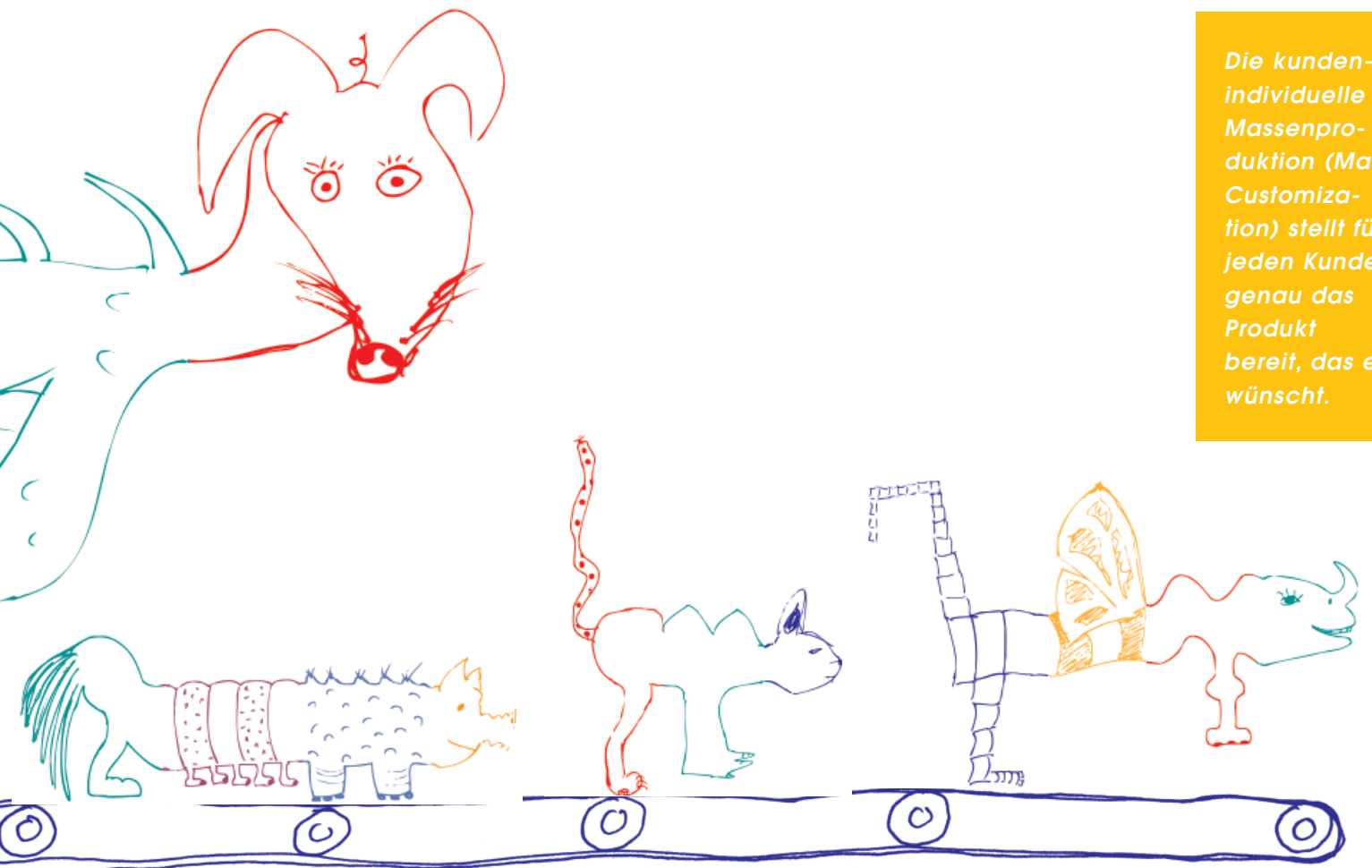
Individuell hergestellte Produkte verursachen oft hohe Kosten – vor allem in der Investitionsgüterindustrie. Denn viele verschiedene Bauteile müssen in kleinen Mengen vorrätig gehalten werden. Technologien, die kompatible Standardbauteile den Kundenwünschen entsprechend konfigurieren, sollen das ändern.

Derzeit stellen viele Firmen ihre Beziehungen zu Geschäftspartnern und Kunden auf das Internet um. In den Bereichen Information und Kommunikation gehört das Internet bereits zum Alltag. Der Bereich Transaktion, also die Abwicklung von Geschäften, verändert Geschäftsmodelle und Unternehmensbeziehungen grundlegend. Motor dieser Entwicklung sind nicht die Business-to-Consumer-Anwendungen (B2C), sondern die Business-to-Business-Anwendungen (B2B). Wickelten die Firmen 1999 noch weniger als ein Prozent ihrer Transaktionen über das Netz ab, so gehen Marktexperten davon aus, dass bereits 2003 zwischen zehn und 20 Prozent des B2B-Volumens über die Netze abgewickelt werden. Vor diesem Hintergrund sind die Firmen gezwungen, Internet-fähig

zu werden. Das setzt Transparenz und vertriebsnahe Kommunikationsfähigkeit der Produkte voraus. Die Endkunden wünschen individualisierte Produkte und Dienstleistungen. Deshalb müssen vertriebsnahe Funktionssichten mit technischen Aufbausichten verknüpfbar gestaltet werden. Zudem erweist es sich als notwendig, Produkte zu modularisieren, um sie in Konfigurationsprozessen zu individualisieren. Jeder Kunde erhält auf diese Weise seine wunschgemäße Lösung.

Die kundenindividuelle Serienfertigung

Die kundenindividuelle Massenproduktion („mass customization“) stellt für jeden Kunden genau das Produkt bereit, das er wünscht – und zwar zu



Die kundenindividuelle Massenproduktion (Mass Customization) stellt für jeden Kunden genau das Produkt bereit, das er wünscht.

VON DER STANGE

einem Preis ähnlich dem eines Standardproduktes [1]. Unter dem Begriff „mass customization“ versteht man ferner, möglichst viele denkbare Kundenwünsche zu bedienen, ohne die innerbetriebliche Varianz ausufern zu lassen. Hierbei wird durch Kombination einer begrenzten Zahl in hoher Losgröße vorgefertigter und untereinander kompatibler Standardbaugruppen oder Standardkomponenten eine kundenspezifische Lösung gefertigt.

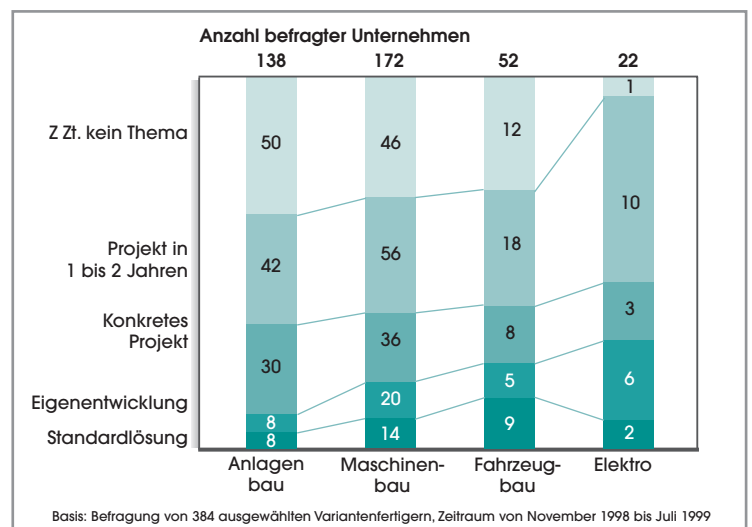
Die Produktkonfiguration, also die Erzeugung eines Produktes aus mehreren Bauteilen oder Baugruppen nach den Wünschen des Kunden in einem klassischen Baukastensystem, fällt demnach unter Mass Customization. Dieses Verfahren darf nicht mit der Variantenfertigung verwechselt werden, durch die ein Kunde aus vorhandenen ähnlichen

Produkten eine fertiggestellte Variante auswählen kann [2].

Die Differenzierung zielt darauf ab, die Wünsche jedes Kunden zu erfüllen und so auch einen großen Absatzmarkt zu erreichen. Die Marktgröße für Mass Customization fällt sehr unterschiedlich aus [2]. In der Bekleidungsindustrie oder der Automobilindustrie kann der Markt mehrere Millionen Menschen umfassen, im Business-to-Business-Bereich der Investitionsgüterindustrie umfasst er vielleicht nur einige Hundert bis einige Zehntausend Endkun-

den. Deshalb soll Mass Customization für die Investitionsgüterindustrie nachfolgend durch den Begriff „Kundenindividuelle Serienfertigung“ ersetzt werden.

Bild 1: Etwa ein Drittel der Firmen beabsichtigt, in den kommenden zwei Jahren die Konfigurationstechnik einzuführen oder verstärkt zu nutzen.



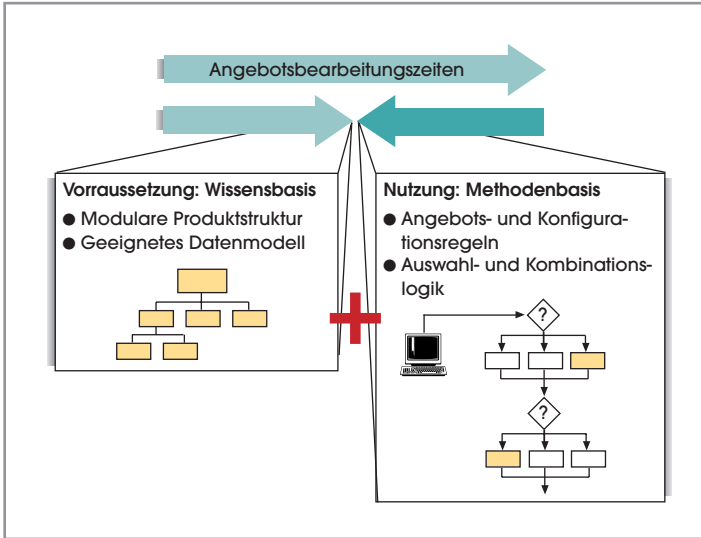
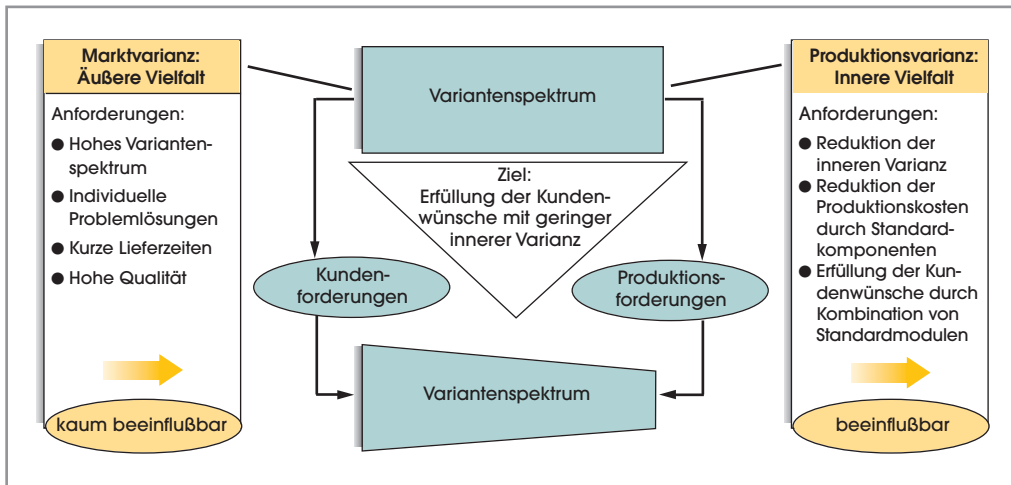


Bild 2: Um einen Konfigurator sinnvoll nutzen zu können, müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein.

Bild 3: Der Einfluss auf die Kundenanforderungen ist aus Marktsicht nicht gegeben. Komplexität in Form von Produktvielfalt kann durch kombinierbare Standardkomponenten reduziert werden.



Um die Modularisierung zu nutzen und damit die Voraussetzung für eine kundenindividuelle Serienfertigung zu schaffen, wird ein Konfigurationswerkzeug benötigt. So lässt sich aus der unüberschaubaren Zahl an Kombinationsmöglichkeiten gezielt eine für die jeweilige Aufgabe sinnvolle und geeignete Lösung finden. Eine Marktstudie zeigt die hohe Aktualität der Konfigurationstechnik. In diesem Zusammenhang wurden Firmen befragt, deren Produkte für die Konfigurationstechnik geeignet sind (Bild 1).

Der folgende Beitrag erläutert eine Methode, die Modularisierung mittels so genannter Produktkonfiguratoren zu nutzen. Zunächst sollen die Voraussetzungen für den Einsatz derartiger Anwendungssysteme beschrie-

ben werden. Anschließend werden die wesentlichen Charakteristika, der Einsatz, die Auswahlkriterien und die Vorteile der verschiedenen Konfigurationstechnologien erklärt.

Voraussetzungen für eine kundenindividuelle Serienfertigung

Für eine strategische Neuausrichtung weg von der Kundeneinzelfertigung hin zur kundenindividuel-

eine geeignete Produktstruktur erstmalig die Voraussetzung zur Standardisierung und somit zur Nutzung von Wiederholeffekten (Bild 2).

Es gilt, die Produkte so zu strukturieren, dass künftige Anforderungen möglichst genau abgedeckt werden und somit der Markt durch vorgedachte bzw. vorgefertigte Produkte ohne zusätzliche konstruktive Einflussnahme optimal bedient wird. Interne Varianten („Kundenneutrale Baugruppen“) sind durch das Produkt-Reengineering deutlich zu reduzieren beziehungsweise erstmalig zu schaffen. Externe Varianten („Kundenspezifische Ausführungen“) entstehen durch die

Kombination der kundenneutralen Baugruppen und werden so spät wie möglich auftragsspezifisch konfiguriert [3]. Mit einer begrenzten inneren Vielfalt soll durch die Kombination eine hohe externe Viel-

falt erzielt werden (Bild 3).

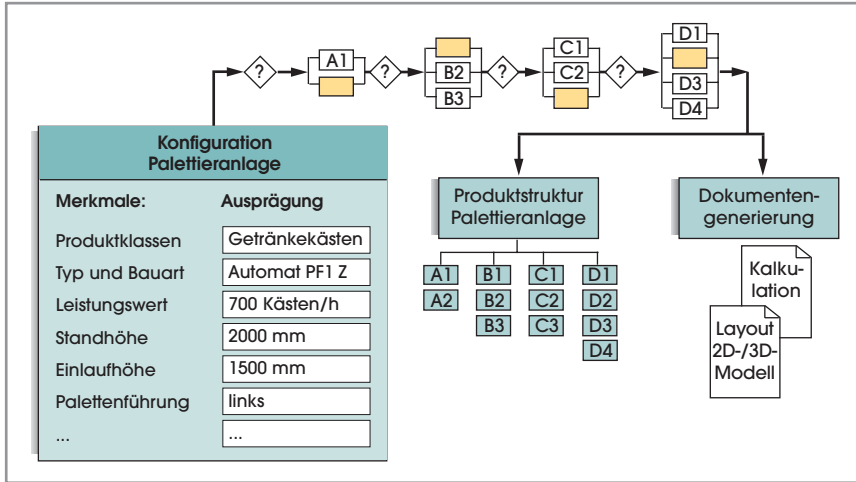
Zudem versuchen die Anbieter, im Produktentstehungsprozess den Übergang der Kundenneutralität des Produktionsprozesses zur kundenspezifischen Lösung („free point“) so weit wie möglich nach hinten, zum Beispiel in die Endmontage zu verlagern [5].

In der Endmontage sollte eine geringe Strukturtiefe angestrebt werden, um möglichst weitgehend vormontierte Baugruppen bereitzustellen und die Endmontagezeiten, die unmittelbar auf die Kundenwartezeit durchschlagen, möglichst gering zu halten. Beispielhaft seien hier einige Kriterien aus einem Gliederungskatalog genannt [3]:

- Eine Funktionsbaugruppe hat eine so genannte Hauptfunktion zu erfüllen, damit sie eine in sich geschlossen vorprüfbar Einheit bildet.

Ein Konfigurationswerkzeug wählt aus einer unüberschaubaren Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten gezielt eine für die jeweilige Aufgabe sinnvolle Lösung aus.





Problemlösung. Dieses Vorgehen erweist sich als zeitintensiv und fehlerhaft. Es führt nicht dazu, kundenneutrale Wiederholungsumfänge zu erhöhen. Zudem werden Kundenwünsche oft-

tionen und Zusammenbaurelationen die Maschine zusammengesetzt.

Die Autoindustrie erfasst schon seit längerem am „point-of-sale“ Kundenwünsche. Mittels eines Computerprogramms übermittelt sie die Anforderung an die Produktionsstätte. Während der Erfassung der Individualisierungsinformationen, also während des Übergangs aus kundenneutralen Vorprodukten in eine kundenindividuelle Lösung, wird der Verkaufsprozess hinsichtlich der vollständigen Datenerfassung (Vollständigkeit) und der technischen Machbarkeit (Plausibilität) unterstützt.

Technikwissen bereitet der Produktkonfigurator also systematisch auf und stellt es dem vorgelagerten Vertrieb zur Verfügung. Meist bietet er folgende Funktionalität:

- **Vollständige Informationserfassung:** Benutzergeführt werden im Dialog sämtliche notwendigen Informationen zur Erstellung eines Angebotes erfasst.
- **Plausibilitätsprüfung:** Das System überprüft die Konfiguration auf technische Machbarkeit.
- **Informationssystem:** Der Vertriebsmitarbeiter bzw. der Kunde erhält Produktinformationen (Preise, Technische Datenblätter, Bilder, Zeichnungen etc.).
- **Systemintegration:** Über eine PPS- und/oder CAD-Schnittstelle können alle benötigten Auftragsdaten übergeben werden.

Je nach Anwendungsbereich können Konfiguratoren im Innen- und/oder im Außendienst eingesetzt werden (Bild 5).

Die erfolgreiche Produktmodularisierung und die erfolgreiche Einführung oder Entwicklung eines geeigneten Produktkonfigurators schaffen die Grundvoraussetzungen für eine Konzeption zur kundenindividuellen Serienfertigung. Die Fertigung und die betroffenen Geschäftsprozesse lassen sich auf diese Weise anpassen und neu ausrichten [3].

Bild 4 (oben): Auswahlvorgang und Plausibilitätsprüfung finden schrittweise statt.

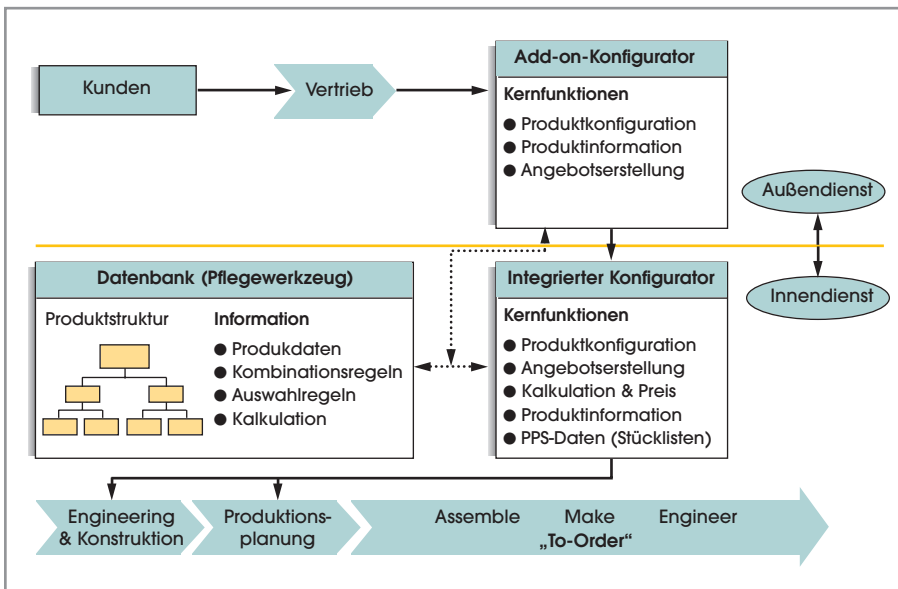


Bild 5: Konfiguratoren sind multifunktionale Werkzeuge für Auftragsfertiger – einsetzbar im Innen- wie im Außendienst.

- Für diese Modulabgrenzung sollte eine Basisbaugruppe vorhanden sein, die eine geeignete Schnittstelle zu einem anderen Bauteil aufweist. Der Baugruppenvernetzungsgrad ist dabei zu minimieren.
- Der kundenneutrale Vormontagegrad ist zu maximieren, das heißt Variantenbildner sollten möglichst zu einem späten Zeitpunkt montiert werden.
- etc.

Der zweite wichtige Gesichtspunkt der kundenindividuellen Serienfertigung liegt in der systematischen und effizienten Erfassung der Kundenwünsche und in der Unterstützung während der Auswahlphase mittels eines Produktkonfigurators.

In der Regel erfasst der Vertrieb in der Investitionsgüterindustrie die Kundenanforderungen, und die Technik entwickelt eine passende

mals unzuverlässig erfasst und falsch interpretiert (Bild 4).

Die Erfassung von Kundenanfragen mit Hilfe eines Produktkonfigurators ist ein gerichteter Auswahlvorgang. Den einzelnen Merkmalsklassen werden die entsprechenden Merkmalsausprägungen zugewiesen. Auftragsmerkmale sind beschreibende Begriffe für Funktionen oder Maschinenausstattungen. Die Ausprägung stellt die Spezifizierung eines Auftragsmerkmals dar.

Aus den zur Verfügung stehenden Varianten wird dann unter Berücksichtigung der erlaubten Kombina-



Technologien der Produktkonfigurationssysteme

Produktkonfiguratoren können tech-

Der Übergang von der Kundenneutralität des Produktionsprozesses zur kunden-spezifischen Lösung sollte möglichst in die Endmontage verlagert werden.

nisch in drei Klassen unterteilt werden:

- Wissensbasierte Systeme: In einem Expertensystem wird die Künstliche Intelligenz für die produktspezifischen Abhängigkeiten angewendet.

- Regelbasierte Systeme: Programmalgorithmen prüfen produktspezifische Abhängigkeiten in einem so genannten „constraint solver“.
- Entscheidungstabellenbasierte Systeme: Produktabhängigkeiten werden über verknüpfte Entscheidungstabellen abgebildet.

Nicht selten werden verschiedene Techniken in Konfiguratoren miteinander verknüpft.

Wissensbasierte Systeme

Ein Expertensystem nutzt die Künstliche Intelligenz für die Produktkonfiguration. In einem definierten Anwendungsbereich wird ein Expertensystem mit Problemlösungstechniken innerhalb verschiedener Systemkomponenten „gefüllt“. Hierbei wird zwischen dem grundlegenden Regelwerk und der Wissensbasis unterschieden. Zudem existieren eine Erklärungskomponente und eine Dialogschnittstelle.

Als Problemlösungskomponente wird in der Regel eine Inferenzmaschine genutzt, die den Benutzer durch die Konfiguration führt. Der Prozess kann je nach Verfahren unterschiedlich strukturiert und gerichtet sein. Regeln lassen sich dabei mittels verschiedener Techniken formulieren.

Je nach Anwendungsfall können unterschiedliche Problemlösungstechniken genutzt werden. Am gebräuchlichsten sind:

- IF-THEN-ELSE-Regeln, in der Anfangsbe-

dingung auf Zustände schließen;

- Einschränkungen („constraints“) – Beziehungswissen wird durch nicht erlaubte Ausprägungen hinterlegt;

- Entscheidungsbäume als logische Abbildung eingegrenzter Lösungsräume;

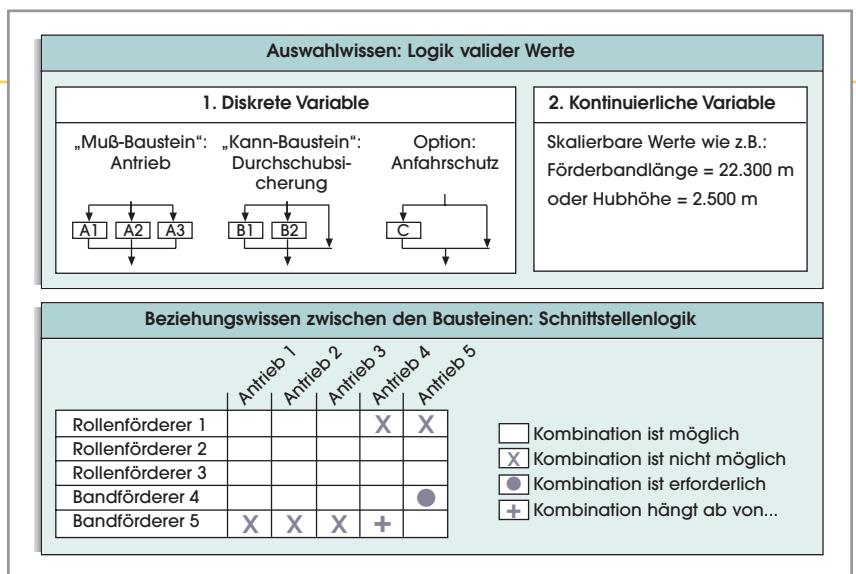
- Zustandstabellen mit „möglich“, „nicht möglich“ oder „abhängig von“,

- Fuzzy Sets, die technische Zusammenhänge zwischen Eingabedaten und Ableitungen herstellen.

Die Wissensbasis kann als Dictionary verstanden werden, in dem Produktdaten, Beziehungswissen sowie Kombinationsregeln und Berechnungsverfahren hinterlegt werden.

Die Dialogoberfläche dient als Benutzerschnittstelle für die Eingabe und Anzeige von Daten.

Diese zum Teil objektorientierten Systeme eignen sich für sehr komplexe Anwendungen. Einige von ih-



nen setzen in der Pflege und Wartung des Regelwerkes Kenntnisse über Sprachen der Künstlichen Intelligenz voraus.

Regelbasierte Systeme

Der Konfigurationsprozess beruht auf der Lösung algebraischer Gleichungen. Hierbei nähert man sich linearen und nichtlinearen Zusammenhängen durch algebraische Gleichungssysteme. Diese Systeme bieten über die Benutzerschnittstelle eine Navigationsfähigkeit, so dass der Benutzer sich auf sich von früheren Abläufen unterscheidende Eingaben beschränken kann.

Für einfache Anwendungen ist der Aufwand zur Erzeugung des Regelwerkes vertretbar. Für sehr komplexe Anwendungen bieten diese Systeme jedoch nur begrenzte Möglichkeiten zur Regelabbildung, da es sich sehr schwierig gestaltet, Regeln und Beziehungswissen dauerhaft

Bild 6: Die Projektierung und Konfiguration erfordert Auswahl- und Kombinationsregeln.

Eine geringe Strukturtiefe und die effiziente Erfassung von Kundenwünschen bilden die wichtigsten Voraussetzungen für die kundenindividuelle Serienfertigung.

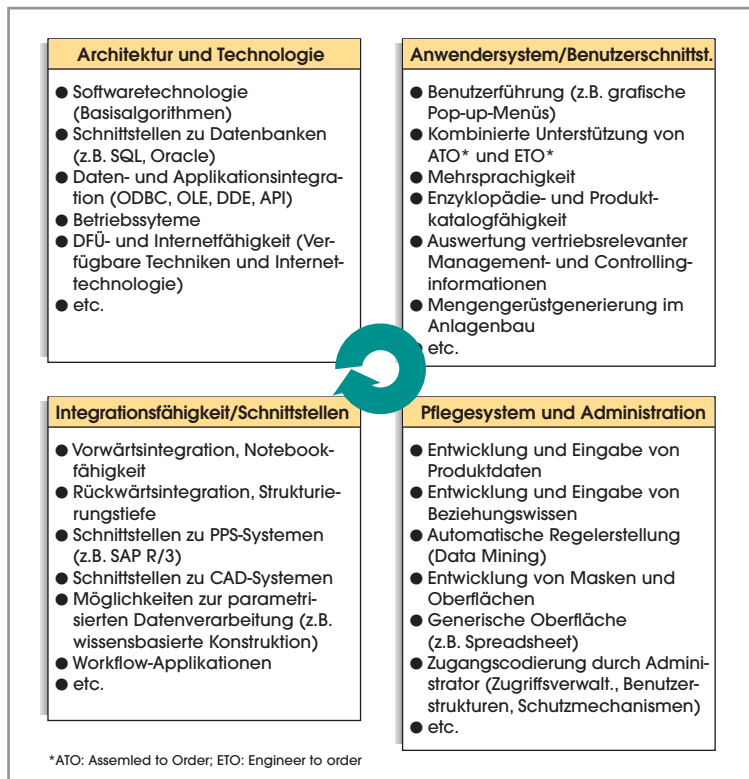
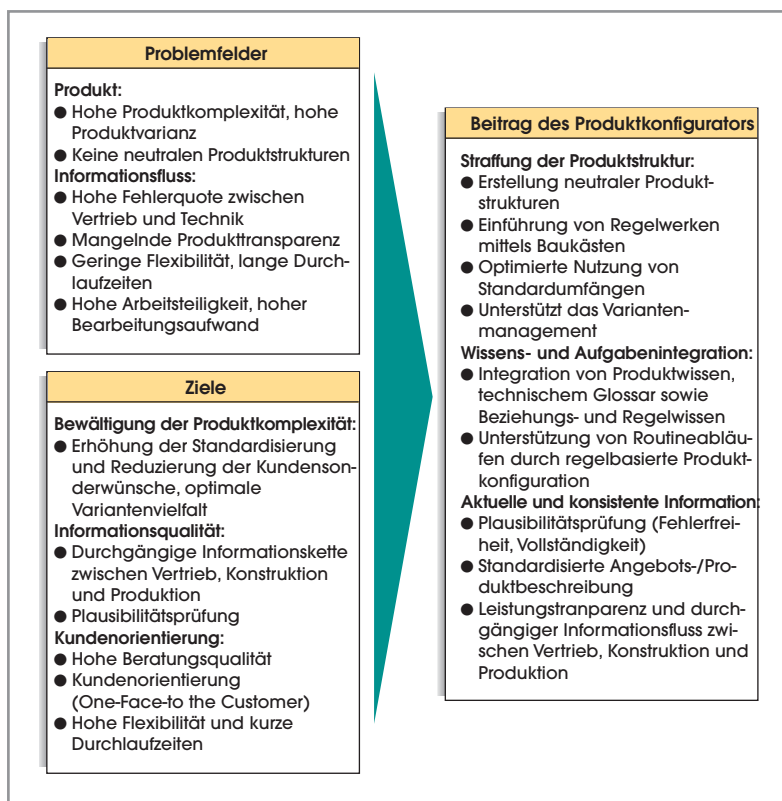


Bild 7: Die Bewertungskriterien zur Auswahl eines Configurators lassen sich in vier Blöcken zusammenfassen.

Bild 8: Vorteile des Einsatzes von Produktconfiguratoren



aufrechtzuerhalten.

Entscheidungstabellenbasierte Systeme

Produktabhängigkeiten werden über verknüpfte Entscheidungstabellen dargestellt. Auf diese Weise lassen

sich Merkmale und Optionen miteinander verknüpfen. In der Konfiguration werden Kundenanforderungen in Form von Attributen (Merkmalsausprägungen) den zugehörigen Maschinenausprägungen zugeordnet. Derartige Lösungen finden sich teilweise auch in PPS-Systemen. Diese Technik eignet sich für einfache Konfigurationen, lässt sich jedoch für sehr komplexe Produkte nur schwer handhaben und pflegen. Die Auftragsmerkmale – einfache

Module ausgewählt. Zusammenbau oder Kompatibilität während der Konfiguration der verschiedenen Module wird mit Hilfe weiterer Tabellen geprüft (Bild 6).

In sogenannten Verriegelungsmatrizen lässt sich die Baubarkeit des Produktes überprüfen. Unzulässige Kombinationen entfallen. Bedingungen und Regeln können sich gegenseitig ausschließen und hierarchisch strukturiert sein.

Für die Erzeugung der Regeln benötigt der Anwender keine oder nur geringe EDV-Kenntnisse. Entscheidungstabellenbasierte Systeme sind durchweg objektorientiert. Sie beanspruchen einen hohen Wartungsaufwand.

Auswahl geeigneter Produktkonfigurationssysteme:

Bei der Auswahl eines Produktconfigurators muss sich der Anwender zuerst zwischen den Einsatzbereichen ATO („assemble to order“), ETO („engineer to order“) und MTO („make to order“) entscheiden.

ATO: Für den Einsatzbereich ATO („assemble to order“) können stringente Systeme mit bis zu 100 Prozent endausgeprägten Modulen vollständig regelbasiert abgebildet werden. Alle denkbaren Konfigurationslösungen sollten durch Beziehungswissen plausibilisierbar sein. Selbst technisch wenig versierte Mitarbeiter können sich der technischen Machbarkeit sicher sein.

ETO: Für den ETO-Bereich („engineer to order“) kann in der Regel keine 100-Prozent-Lösung plausibilisiert werden. Dies trifft beispielsweise für den Anlagenbau zu. Zwar wiederholen sich konfigurierbare Teilumfänge, doch das Gesamtpro-

Funktions-, Bedienungs- oder Leistungsbegriffe – legt der Vertrieb fest (Bild 4). Auftragsmerkmale besitzen zwei oder mehr Ausprägungen. In der Abfrage der relevanten Merkmale, die schrittweise erfolgt, werden Komponenten beziehungsweise Mo-



dukt lässt sich nie vollständig auf Sinnhaftigkeit überprüfen. Dies gilt etwa für verfahrenstechnische Anlagen, in denen bestimmte Rohre, Tanks, Kessel oder Pumpen wiederholt Verwendung finden. In der diskreten Fertigung trifft dies zum Beispiel für Montagestraßen der Automobilindustrie zu. Dort lässt sich ein Roboter zwar vollständig konfigurieren, doch spezielle Peripheriegerätee müssen im Einzelfall separat eingefügt werden.

ATO/ETO: In der industriellen Anwendung ist die Kombination von ATO- und ETO-Typen von sehr großer Bedeutung. Hierunter ist die vollständige Konfigurierbarkeit in Kombination mit frei konfigurierbaren oder einzubeziehenden Teilumfängen zum Teil bis auf Stücklistenebene von großer Bedeutung. Hierfür wird ein entsprechend geeigneter Editor benötigt.

MTO: Im MTO-Bereich („make to order“) ist der Einsatz begrenzt. Zwar existieren spezielle Lösungen in der Fenster- oder Regalindustrie, doch lassen sich Konfiguratoren nicht allgemeingültig dieser Typenklasse zuordnen. Je nach Anwendungsfall wird in einem mehrstufigen Bewertungs- und Auswahlverfahren aus den am Markt erhältlichen Systemen ein geeigneter Konfigurator ausgewählt.

Aus einer aktualisierten Marktrecherche lassen sich je nach Eingren-

zung der Kriterien zwischen 30 bis über 40 Konfigurationssysteme auswählen. Produktphilosophien, Technologien und deren Anwendungsfelder erweisen sich als beinahe so vielfältig wie die möglichen Einsatzfelder. Abgesehen von den betriebswirtschaftlichen und anbieterrelevanten Kriterien lassen sich Vergleiche über vier Kriterienblöcke ziehen (Bild 7).

Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass es keine allgemeingültige Bewertung über Produktkonfiguratoren geben kann. In jedem Einzelfall sind die zugehörigen Kriterien erneut zusammenzustellen und je nach Relevanz unterschiedlich zu gewichten.

Nutzen von Produktkonfigurationssystemen

Die geforderte Kostenoption der durch Produktkonfiguratoren unterstützten Mass Customization begründet sich neben der Reduktion der Komplexitätskosten vor allem in der Möglichkeit, Lern- und Größenvorteile bei der Entwicklung und Produktion der standardisierten Bauteile zu erzielen [2].

Zudem verkürzen sie deutlich sowohl die Durchlaufzeiten von der Anfrage bis zum Angebot als auch die Kundenwartezeiten im Auftragsfall. Denn Iterationsschleifen zum Kunden und der Durchlauf durch die Konstruktion werden vermieden, weil bei Auftragseingang mit der

Auswahl vordefinierter bzw. endausgeprägter und vorgefertigter Bausteine die technische Lösung vorhanden ist.

Kommunikationsfehler können sich auf ein bis drei Prozent Gewinneinbuße vom Umsatz belaufen. Diese Fehlerquellen lassen sich durch die vollständige und frühzeitig plausibilisierte technische Lösung infolge der hohen Informationsqualität drastisch reduzieren (Bild 8).

Die freigewordene Kapazität im Vertrieb und in der Technik kann für wichtigere Aufgaben als für reine Routinetätigkeiten eingesetzt werden.

Fazit und Ausblick

Die hier beschriebene zweistufige Vorgehensweise, in der zunächst die produktseitigen Voraussetzungen durch Modularisierung und Standardisierung geschaffen werden und im zweiten Schritt die Einführung und Nutzung eines Produktkonfigurators folgt, zeigt einen Weg, produktseitige Komplexität zu beherrschen und eine kundenorientierte Organisationsstruktur zu schaffen. Der Produktkonfigurator dient dabei nur vordergründig als **Vertriebshilfsmittel**.

Komplexe Kommunikations- und Herstellungsprozesse lassen sich heute durch intelligente Organisations- und DV-Lösungen realisieren. Die Konfigurationstechnologie ebnet den Weg zu einer hochreagiblen Organisationsstruktur, die einen durchgängigen Informationsfluss zwischen Vertrieb, Konstruktion und Produktion gewährleistet.

Dr.-Ing. Josef Wüpping/am

Literatur

- (1) B. Joseph Pine II: Mass Customization: The New Frontier in Business Competition, Harvard Business School Press, 1993
- (2) F. Piller: Kundenindividuelle Massenproduktion, München/Wien, Hanser Verlag 1998
- (3) J. Wüpping: Logistikgerechte Produktstrukturen bei marktorientierter Variantenvielfalt, in Management Zeitschrift, Nr. 1/2 1998, S. 30-35
- (4) W. Maßberg: Beherrschung der Komplexität in der Produktion, wt Werkstatttechnik 87 (1997), S. 349-354, Springer-VDI-Verlag 1997
- (5) J. Wüpping: Produktivitätssteigerung mittels selbstoptimierender Fertigungsinseln, wt Werkstatttechnik 88 (1998), Nr. 9/10, S. 421-425, Springer-VDI-Verlag 1998

Mit Produktkonfiguratoren lassen sich sowohl die Durchlaufzeiten von der Anfrage bis zum Angebot als auch die Kundenwartezeiten deutlich reduzieren.