

Bild 1: Verbreitetes ‚Mißverständnis‘ von Simultaneous Engineering

## 1 Einleitung

Die Fähigkeit, eine Idee schnell und kostengünstig in ein marktreifes Produkt umzusetzen, wird immer mehr zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Durch die aktuellen Randbedingungen wie sich inflationär verkürzende Produktlebenszyklen und exponentieller Anstieg der Variantenvielfalt durch die Individualitätsansprüche der Kunden bedarf es neuer Vorgehensweisen in Entwicklung und Produktion. Viele Unternehmen propagieren das Simultaneous Engineering (SE), um Produkt- und Produktions-Know-how in den Entwicklungsprozeß einfließen zu lassen.

SE bedeutet, Konstruktion und Montageplanung – meist ergänzt um Funktionen wie Einkauf oder Controlling sowie Zulieferer – organisatorisch zusammenzufassen. Typische Ausprägungen sind die Einführung einer überlagernden Projektorganisation mit SE-Teams oder die produktorientierte Gliederung des gesamten Entwicklungsbereiches. Diese Organisationseinheiten haben in der Regel die Aufgabe alle ein bestimmtes Entwicklungsprojekt betreffenden Entscheidungen zu koordinieren (Bild 1). Selten findet man demgegenüber eine echte Kooperation, die durch ein integriertes Vorgehen sowie eine gemeinsame Problemlösung gekennzeichnet ist. Die SE-Runden verkommen so schnell zu einem reinen ‚Freigabegremium‘. Dadurch wird zwar ein Erfahrungsrückfluß aus den einzelnen Disziplinen ermöglicht, ein gemeinsamer Aufbau von Erfahrung findet allerdings selten statt.

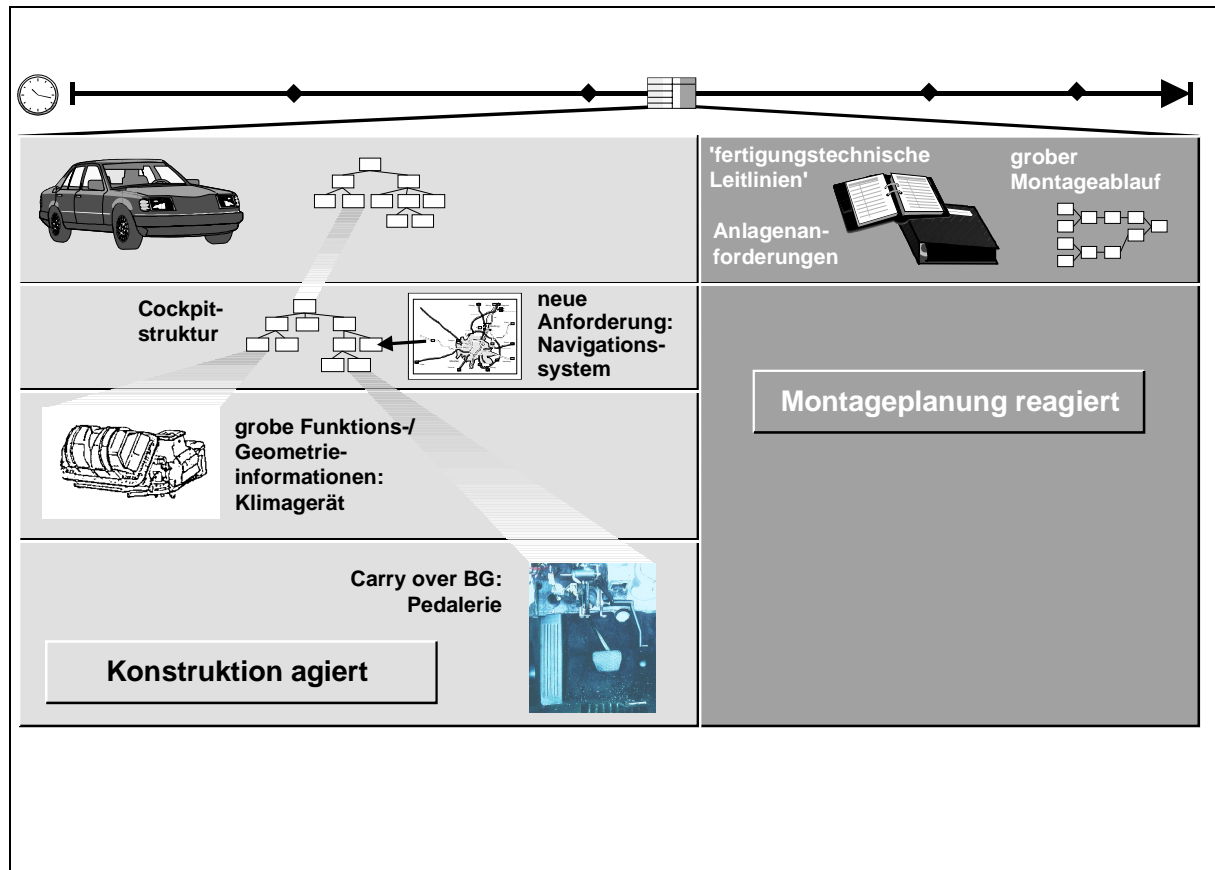


Bild 2: Momentaufnahme: Ein 'konventioneller' Entwicklungsprozeß

Ein solches Verständnis von SE ist oft geprägt durch eine agierende, *treibende Konstruktion*, die alle Produktentscheidungen und damit auch nicht unwesentlich Entscheidungen für die zugehörige Montageanlage trifft. Die *Montageplaner* hingegen *reagieren* lediglich auf die Vorgaben der Konstruktion, indem sie Hinweise aus ihrer allgemeinen Erfahrung einfließen lassen, ohne jedoch über projektspezifische Planungsergebnisse zu verfügen. Das Ergebnis ist dann ein ausschließlich von den Konstrukteuren bestimmtes Produkt und eine darauf angepaßte Montageanlage.

## 2 Blick auf einen konventionellen Entwicklungsprozeß

Dieses Vorgehen einer agierenden Konstruktion und einer reagierenden Montageplanung soll an einem Beispiel verdeutlicht werden:

Zu einem beliebigem Zeitpunkt im Entwicklungsprozeß liegen in der Konstruktion Teilergebnisse auf unterschiedlichsten Detaillierungsebenen vor (Bild 2). So wird die grundsätzliche Struktur und die prinzipielle Funktion für das gesamte Produkt feststehen. Für neue Anforderungen liegen unter Umständen erst grundlegende Konzepte vor. Einzelne Baugruppen werden z.B. aus Vorgängerprojekten in ihrer Struktur bekannt sein. Wieder andere Baugruppen werden in ihrer Funktion und groben Geometrie feststehen und schließlich wird es Teile und Baugruppen geben, die schon vollständig ausdetailliert sind, da sie zum Beispiel aus anderen Projekten übernommen wurden (Carry over).

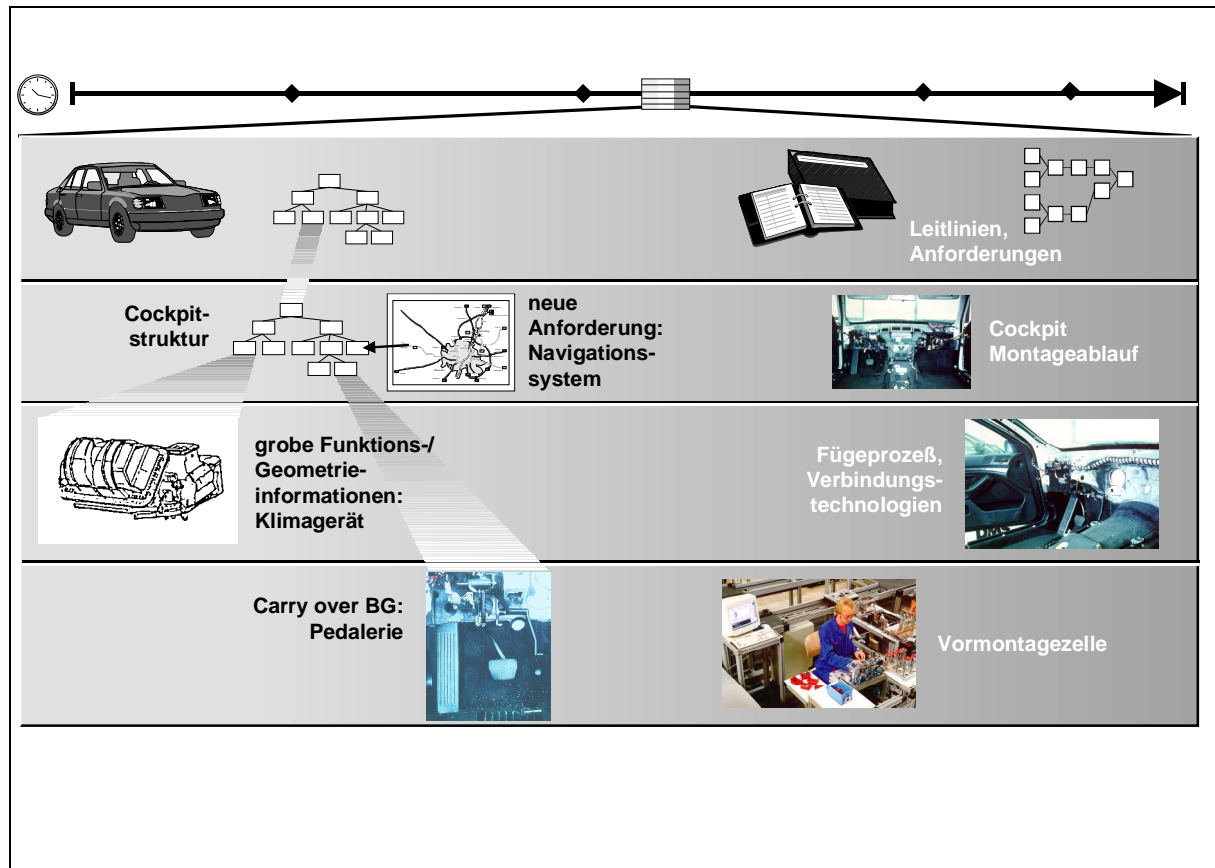


Bild 3: Momentaufnahme: Ein ‚besserer‘ Entwicklungsprozeß

Demgegenüber hat die Montageplanung mit der eigentlichen Planung zu diesem Zeitpunkt im Entwicklungsprozeß noch gar nicht begonnen. Der Montageplaner berät lediglich den Konstrukteur bei der Gestaltung des Produktes. Er bezieht sich dabei auf allgemeingültiges Planungswissen und insbesondere auf Erfahrungen aus Vorgängerprojekten, die auf das vorliegende Produkt projiziert werden. Eine projektspezifische Planung findet zu diesem Zeitpunkt noch nicht statt. Der Montageplaner beginnt seine eigentliche Planung erst, wenn die Konstruktion des Produktes nahezu abgeschlossen ist.

### 3 Entwicklungsprozeß mit frühzeitiger Montageplanung

Es stellt sich nun die Frage, ob auch ein Entwicklungsprozeß möglich ist, in dem das Produkt und die Montageanlage gleichzeitig geplant werden (Bild 3). Dazu soll der gleiche Zeitpunkt im Entwicklungsprozeß betrachtet werden, d.h. die Konstruktion hat einen ähnlichen Entwicklungsstand erreicht wie im vorherigen Beispiel. Die Montageplanung hat nun aber auf Basis vorhandenen Wissens und der vorhandenen Ergebnisse aus der Konstruktion die eigene Planung bereits begonnen. Zu Beginn des Projektes wurden analog zur prinzipiellen Produkt- und Funktionsstruktur in der Konstruktion der prinzipielle Aufbau der Montageanlage und ein grober Montageablauf festgelegt. Auf Basis der bekannten Cockpitstruktur konnte die Grundstruktur und der Grundablauf für die Montage des Cockpits geplant werden. Aus den

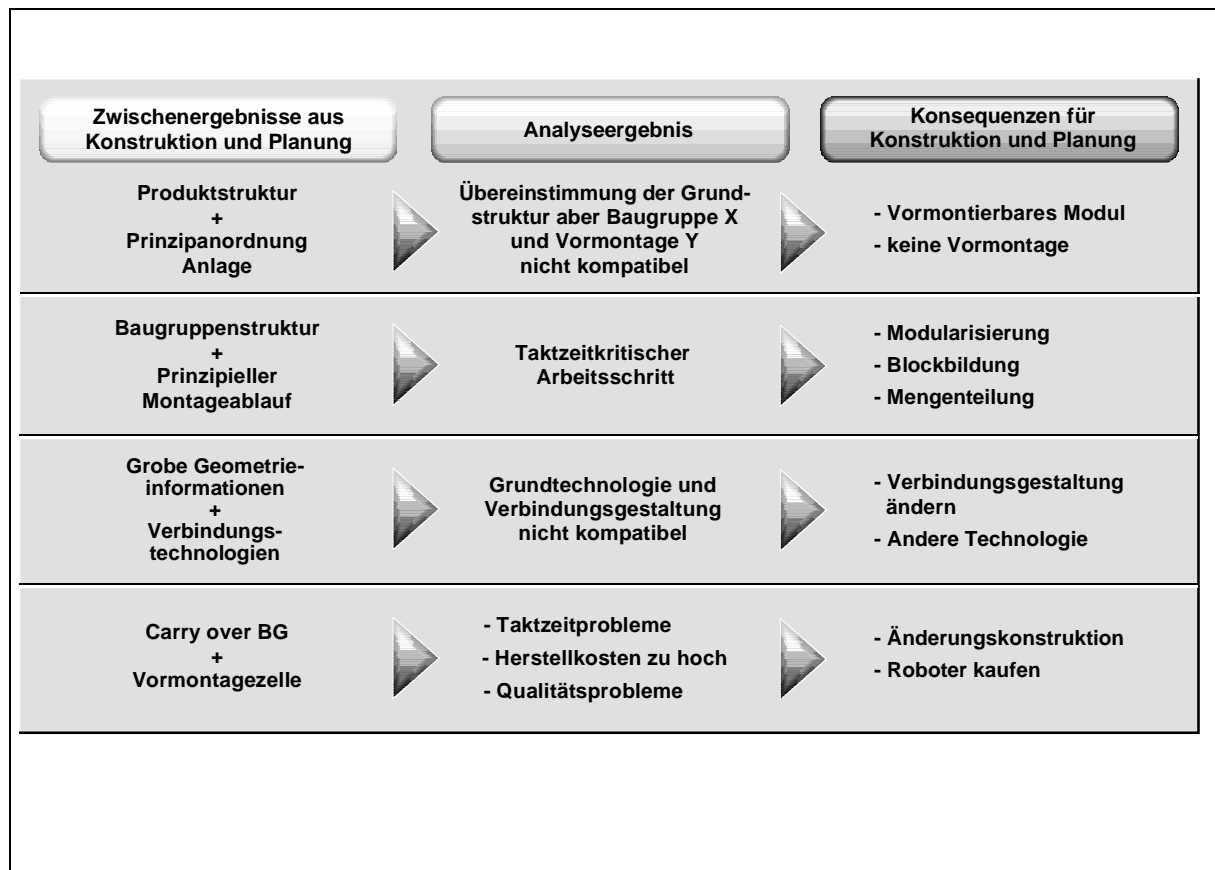


Bild 4: Vorteile frühzeitiger Planungstätigkeiten

groben Funktions- und Geometrieinformationen des Klimagerätes konnten die notwendigen Verbindungstechnologien und Fügewege abgeleitet werden. Und schließlich konnten für alle fertig ausdetaillierten Teile und Baugruppen die Vormontagezellen komplett geplant und die Einbausituation ins Endprodukt analysiert werden.

Anhand dieses Beispiels wird offensichtlich, daß eine Vielzahl von planerischen Aufgaben schon sehr früh im Produktentwicklungsprozeß durchgeführt werden können. Im nächsten Schritt soll nun untersucht werden, welchen Nutzen diese frühzeitige Planung bringen kann.

## 4 Frühe Bewertung der Zwischenergebnisse aus Konstruktion und Planung

Der wesentliche Vorteil einer frühzeitig beginnenden Montageplanung liegt in der Möglichkeit, bereits früh Analysen durchführen zu können. Dadurch ist es möglich, fundierte Aussagen über die bisherigen Produkt- und Anlagenentwicklungsergebnisse zu treffen und Anpassungen durchzuführen, um Produkt und Montageanlage besser gestalten zu können.

Bezogen auf das vorherige Beispiel, kann bereits auf Basis der prinzipiellen Produktstruktur und der Prinzipanordnung der Montageanlage untersucht werden, ob diese übereinstimmen (Bild 4). Ein mögliches Ergebnis ist, daß z.B. die Grundstrukturen

übereinstimmen, aber eine Baugruppe bzw. eine Vormontage nicht kompatibel sind. Das Ergebnis dieses frühen Analyseschritts kann Konsequenzen sowohl für die Konstruktion (z.B. Einführung einer Vormontagebaugruppe) als auch für die Montageplanung (z.B. Beseitigung der Vormontage) haben. Die Analyse der Baugruppenstruktur und des prinzipiellen Montageablaufs ermöglicht das Auffinden taktzeitkritischer Arbeitsschritte, die durch Mengenteilung oder Modularisierung beseitigt werden können. Anhand der Analyse der groben Geometrieinformationen und der Verbindungstechnologien läßt sich die Kompatibilität der eingesetzten Grundtechnologien und der gewählten Verbindungsgestaltung untersuchen. Bei Inkompatibilität sind je nach Priorität entweder die Technologie oder die Verbindungsgestalt zu ändern. Und schließlich können für bereits ausdetaillierte Baugruppen und geplante Montagezellen detaillierte Analysen bzgl. Taktzeit, Prozeßqualität oder Herstellkosten durchgeführt werden (CUIPER U.A. 1996), deren Ergebnisse bei Problemen zur Verwendung anderer Betriebsmittel oder zu Umkonstruktionen am Produkt führen können. Anhand dieser Beispiele wird offensichtlich, daß Analysetätigkeiten in den unterschiedlichsten Konkretisierungsgraden des Produkt- und Anlagenentwicklungsprozesses möglich sind. Die dabei aufgedeckten Schwächen können somit rechtzeitig verbessert werden.

## **5 Möglichkeiten zur Verbesserung des Entwicklungsprozesses**

Es gibt zwei Möglichkeiten, die zur Verbesserung des Ablaufs und der Zusammenarbeit bei einer Produkt- und Anlagenentwicklung in einem SE-Team führen (Bild 5). Erstens muß entgegen des derzeit vielfach sehr späten Beginns der Montageplanung, frühzeitiger mit den Planungstätigkeiten begonnen werden. Dies ist für die verschiedenen Produktkomponenten in den unterschiedlichen Detaillierungsgraden möglich. Dadurch wechselt die Montageplanung vom reagierenden zum gleichberechtigten agierenden Partner, was zu einer Verbesserung von Produkt und Montageanlage führt. Darauf aufbauend ist die zweite Verbesserung in der Möglichkeit der frühzeitigen Durchführung von Analysen zu sehen. Somit können auf Basis der bisherigen Produkt- und Anlagenergebnisse in den verschiedenen Konkretisierungsgraden bereits unterschiedlich detaillierte Analysen bzgl. Qualität, Kosten und Zeit durchgeführt werden.

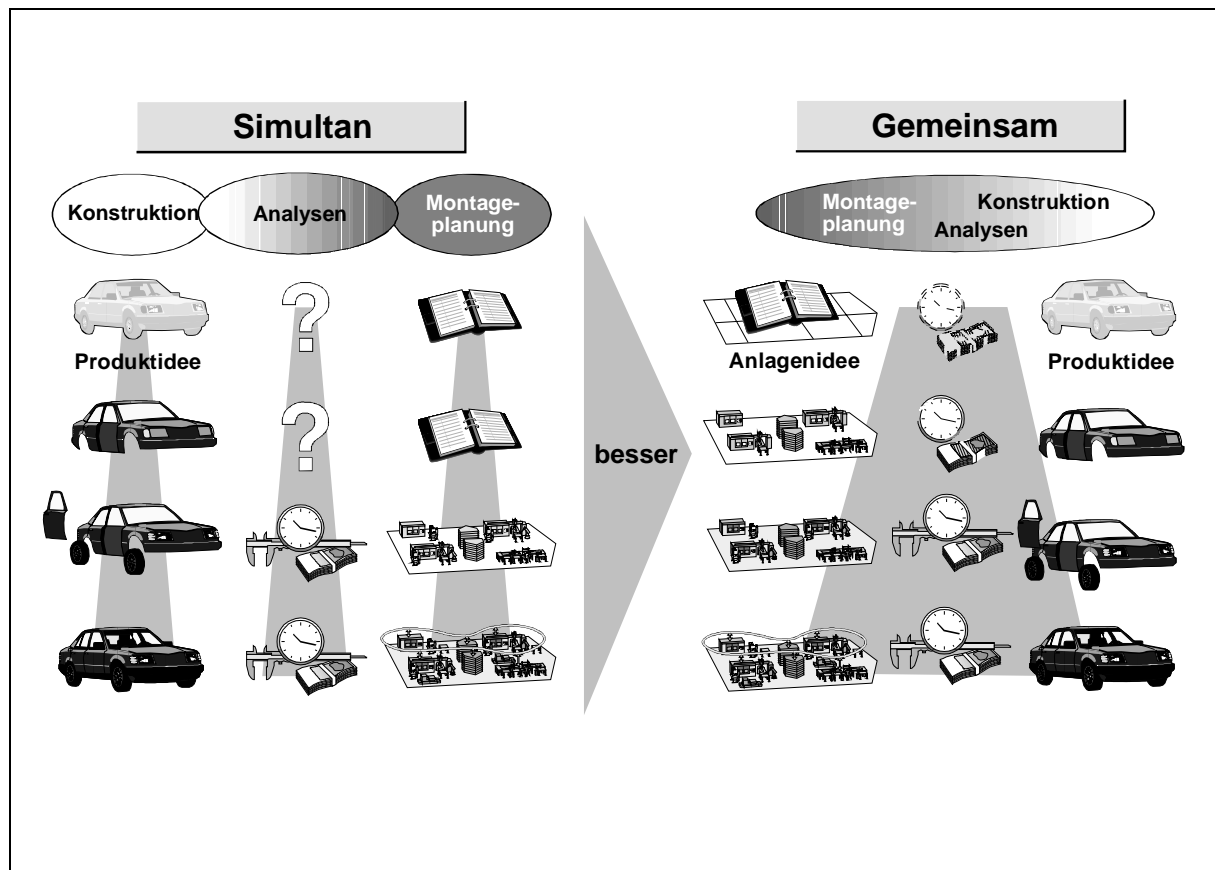


Bild 5: Frühzeitige Montageplanung und Analysetätigkeiten

Diese ermöglichen es wiederum, Aussagen über die Planungsergebnisse bzgl. möglicher Produkt- und Anlagenschwächen zu machen. Da der Großteil der Herstellkosten eines Produktes in den frühen Entwicklungsphasen festgelegt wird, hat dies den entscheidenden Vorteil, daß Fehler, die während dieser Zeit gemacht wurden rechtzeitig erkannt und behoben werden können. Dies ist insbesondere bei steigender Komplexität der Aufgabenstellung immer wichtiger. Alle nachfolgenden Arbeitsschritte müssen dann nicht nochmals durchgeführt werden. Die daraus resultierenden kleineren Iterationsschleifen führen zu kürzeren Entwicklungszeiten und niedrigeren Entwicklungskosten.

## 6 Produkt-, evolutions- oder anlagengetriebener Entwicklungsprozeß

Bisher werden Entscheidungen im Entwicklungsprozeß fast ausschließlich durch die Dominanz der Konstruktion bestimmt. Entsprechend den Zielen der Konstruktion basieren die *produktgetriebenen* Entscheidungen auf funktions- und designbestimmenden Kriterien (Bild 6). Die Konstruktion als Treiber des Entwicklungsprozesses ist vor allem dann sinnvoll, wenn im Rahmen des Projektes ein neues, innovatives Produkt entwickelt werden soll. Wird demgegenüber das Ziel verfolgt, eine

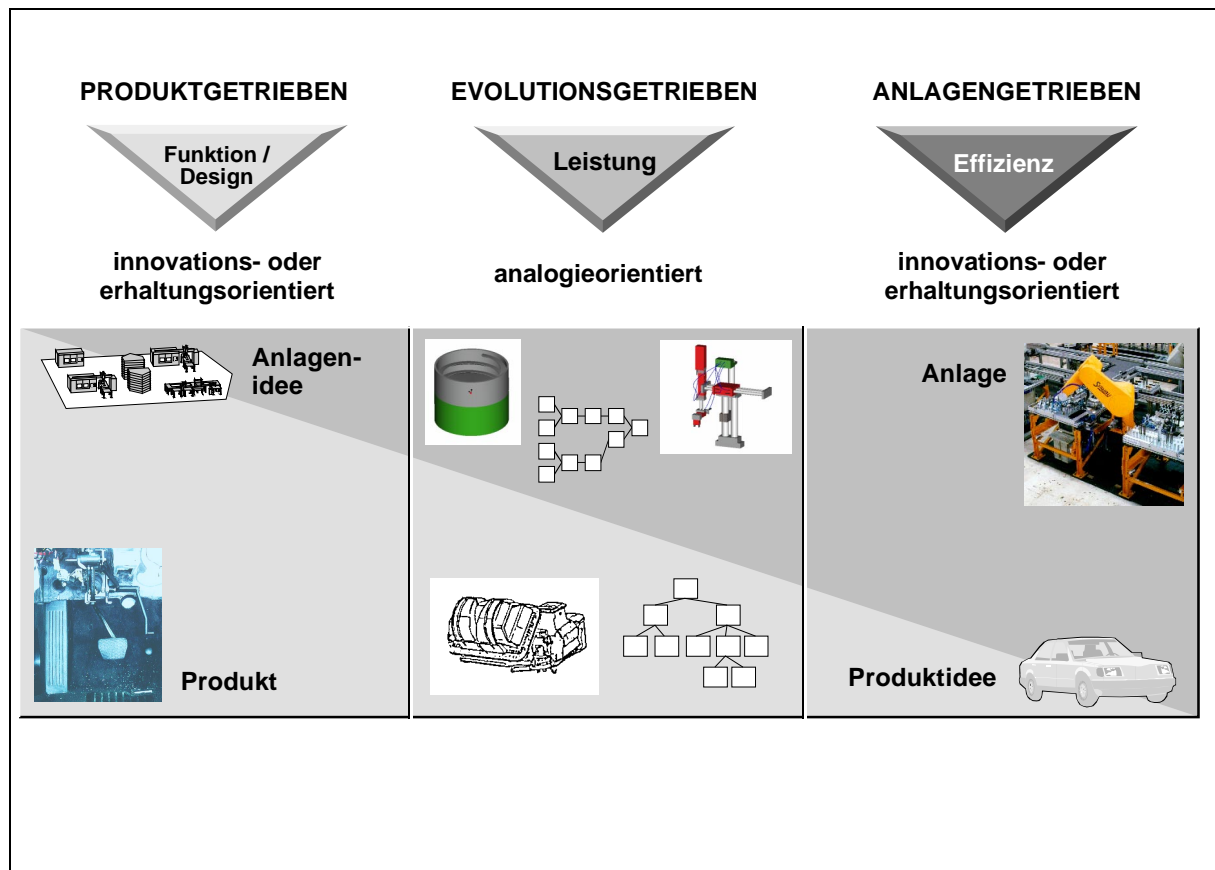


Bild 6: Mögliche 'Treiber' im Entwicklungsprozeß

bestehende Anlage wiederzuverwenden oder eine neue, innovative Technologie einzuführen, so muß die Montageplanung eine stärkere Position erhalten. Diese *anlagengetriebene* Ausprägung ist bestimmt durch Effizienz. Zwischen diesen beiden Bereichen sind die verschiedensten Ausprägungen des Treibers im Entwicklungsprozeß möglich. Dieser Fall kann als *evolutionsgetrieben* bezeichnet werden. Die Entwicklung ist durch die erzielte Leistung bestimmt. Ziel ist dabei die Nutzung vorhandenen konstruktiven und planerischen Wissens, indem versucht wird, z.B. strukturelle Ähnlichkeit des Produkts zu bekannten Vorgängerprodukten oder die ähnliche Struktur der Montagezelle aus vorhandenen Komponenten zu erreichen. Diese Vorgehensweise ist aufgrund der Zielsetzung, Ähnlichkeiten zu bereits vorhandenen Lösungen zu nutzen, analogieorientiert. Durch die Mischung aus produkt- und anlagengetriebener Entwicklung werden Änderungsschleifen vermieden und die Komplexität bei der Montageplanung reduziert.

Die Festlegung eines Treibers kann aus zwei Blickrichtungen erfolgen. Einerseits ist es möglich, den Treiber des Gesamtentwicklungsprozesses zu definieren. Diese Festlegung ändert sich aufgrund seiner übergeordneten Stellung im Ablauf des Entwicklungsprozesses nur selten. Andererseits werden Treiber im Rahmen der Entwicklung unterschiedlicher Komponenten definiert. Hierbei kann der Treiber von Komponente zu Komponente unterschiedlich sein. Eine Verschiebung des Treibers im Fortschritt der Entwicklung der Komponente ist dabei aber durchaus möglich.

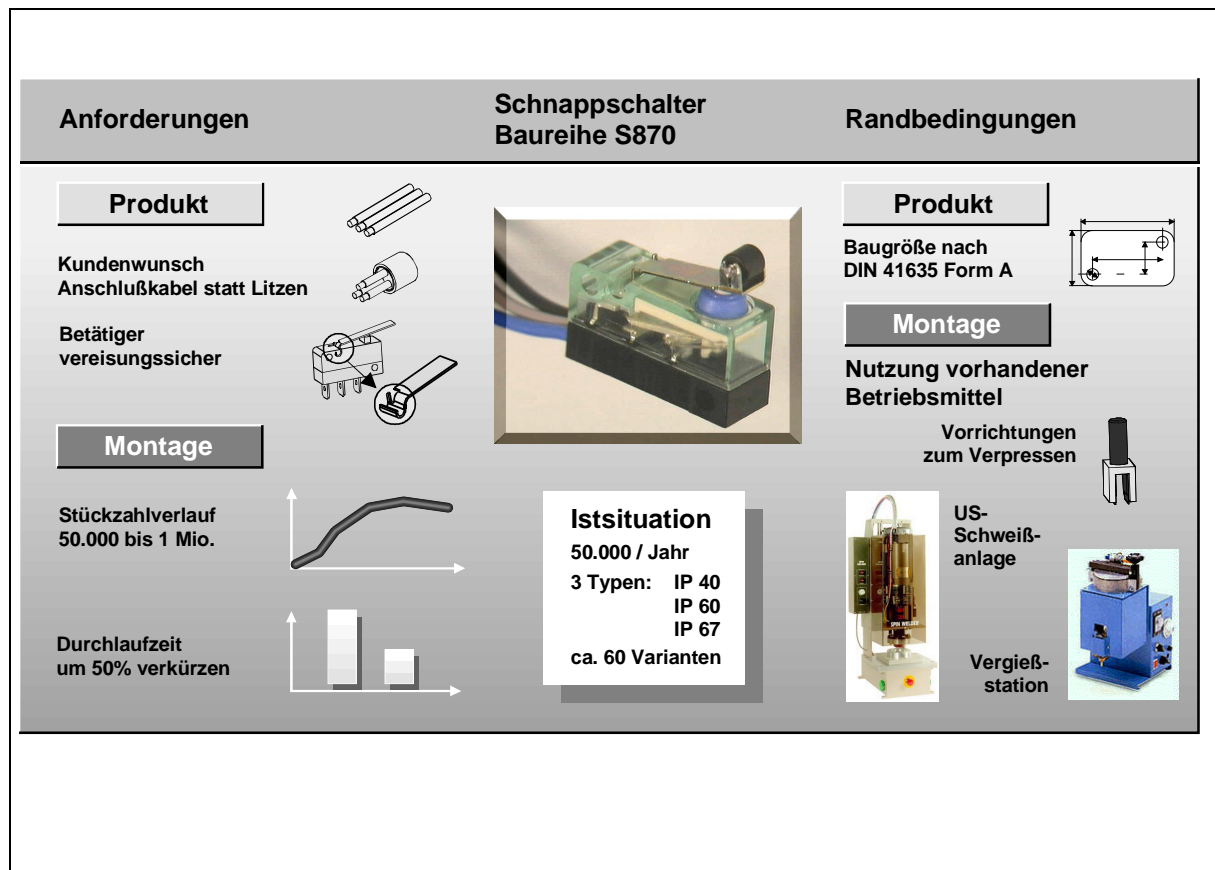


Bild 7: Gemeinsame Festlegung der Anforderungen durch alle Beteiligten sowohl unter Funktions- als auch Produktionsgesichtspunkten

## 7 Beispiel: Kooperative Entwicklung eines Schnappschalters

Die Vorteile einer kooperativen Produktentwicklung, d.h. der vernetzten Gestaltung von Produkt und Montageanlage, sollen anhand der Neuplanung einer flexiblen Montageanlage für Schnappschalter gezeigt werden.

Schnappschalter sind elektromechanische Schaltelemente zum Öffnen bzw. Schließen von Stromkreisläufen. Hauptanwendungsgebiete sind die Regelungs- und Steuerungstechnik sowohl in der Industrie als auch in Nutz- und Schienenfahrzeugen. Die neuentwickelte Baureihe S 870 der Schaltbau AG ist ein Schnappschalter mit sicherheitsrelevanten Eigenschaften, wie z.B. Dichtigkeit gegenüber Feuchtigkeit und Zwangsöffnung von verschweißten Kontakten. Die Baureihe besteht aus drei Typen, die sich vorrangig in der Schutzart nach DIN 40050 unterscheiden (IP40, IP60 und IP67). Durch die Ausstattung der Schalter mit unterschiedlichen Betätigern (z.B. Rollen- oder Flachhebel) und Anschlüssen (z.B. Litzen oder Leiterplattenpins) ergibt sich daraus eine Vielfalt von ca. 60 Varianten (Bild 7).

Zielsetzung war, eine ausgeprägt reaktionsfähige und flexible Produktionsumgebung zu schaffen. Die integrierte Entwicklung\* eines montagegerechten Produkts und des zugehörigen varianten-, losgrößen- und stückzahlflexiblen Produktionssystems wurde in einem interdisziplinären Projektteam, bestehend aus Mitarbeitern der Konstruktion, Arbeitsplanung und Qualitätssicherung, durchgeführt (REINHART & DÜRR-SCHMIDT 1998).

## 7.1 Anforderungen und Randbedingungen

Das Kundenspektrum reicht vom Großkunden (Losgröße > 1000) bis hin zu Kleinstmengenabnehmern (Losgröße 1 bis 10). Die Stückzahlprognosen lassen einen Stückzahlverlauf mit mehreren Sprüngen von 50.000 bis 1 Mio. Stück pro Jahr in einem Zeitraum von 5 Jahren erwarten (Bild 7). Das vorhandene manuelle Montagesystem der Schaltbau AG ist geprägt durch hohe Durchlaufzeiten und fehlende Variantenflexibilität. Bereits vorhandene Betriebsmittel (z.B. Einpreßvorrichtung) sollen aber wiederverwendet werden. Eine Analyse der Betätiger ergab Schwachstellen sowohl in Bezug auf die Funktionserfüllung als auch hinsichtlich der Montage. So kann bspw. bei einer Vereisung des Spalts zwischen Gehäuse und Betätiger, ein Betätigen des Schaltelements nicht mehr garantiert werden.

Der Typ IP67 ist derzeit nur in einer Litzenversion erhältlich. Auf Kundenwunsch soll in Zukunft auch ein Anschlußkabel angeboten werden, wobei die Baugröße für Schnappschalter nach DIN 41635 Form A nach Möglichkeit einzuhalten ist.

Insbesondere die frühen Phasen des Entwicklungsprozesses (Aufgabenklärung, Konzeption) erfordern die kooperative Zusammenarbeit aller Beteiligten. Am Anfang des Projekts wurde eine gemeinsame Definition der Anforderungsliste bzw. des Pflichtenhefts vorgenommen. Denn im Gegensatz zur heute üblichen produktgetriebenen Erstellung der Anforderungsliste, die lediglich um globale produktionsseitige Anforderungen, wie z.B. Herstellkosten, ergänzt wird, ist eine frühzeitige Definition der detaillierten Produktionsanforderungen, wie z.B. vorhandenes Technologiewissen oder bereits existierende Montagekomponenten, für eine optimale Gestaltung von Produkt und Produktion unerlässlich. Die Anforderungsliste ist im Verlauf des weiteren Entwicklungsprozesses Grundlage bei der Bewertung von Lösungsalternativen. Einen weiteren Schwerpunkt der montage- bzw. automatisierungsgerechten Produktgestaltung bildet die Verbindungstechnik. Die zu verbindenden Bauteile werden heute meist ohne ausreichende Berücksichtigung der Fertigung und Montage, wie z.B. verfügbare Fertigungsverfahren oder Montagekomponenten, gestaltet. Deshalb handelt es sich meist um nicht automatisierungsgerechte Produkte, die kostenintensive Montagevorrichtungen zur Folge haben. Der Einsatz

---

\* Das Praxisbeispiel wurde im Rahmen des Transferbereichs 2 „Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung“ von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

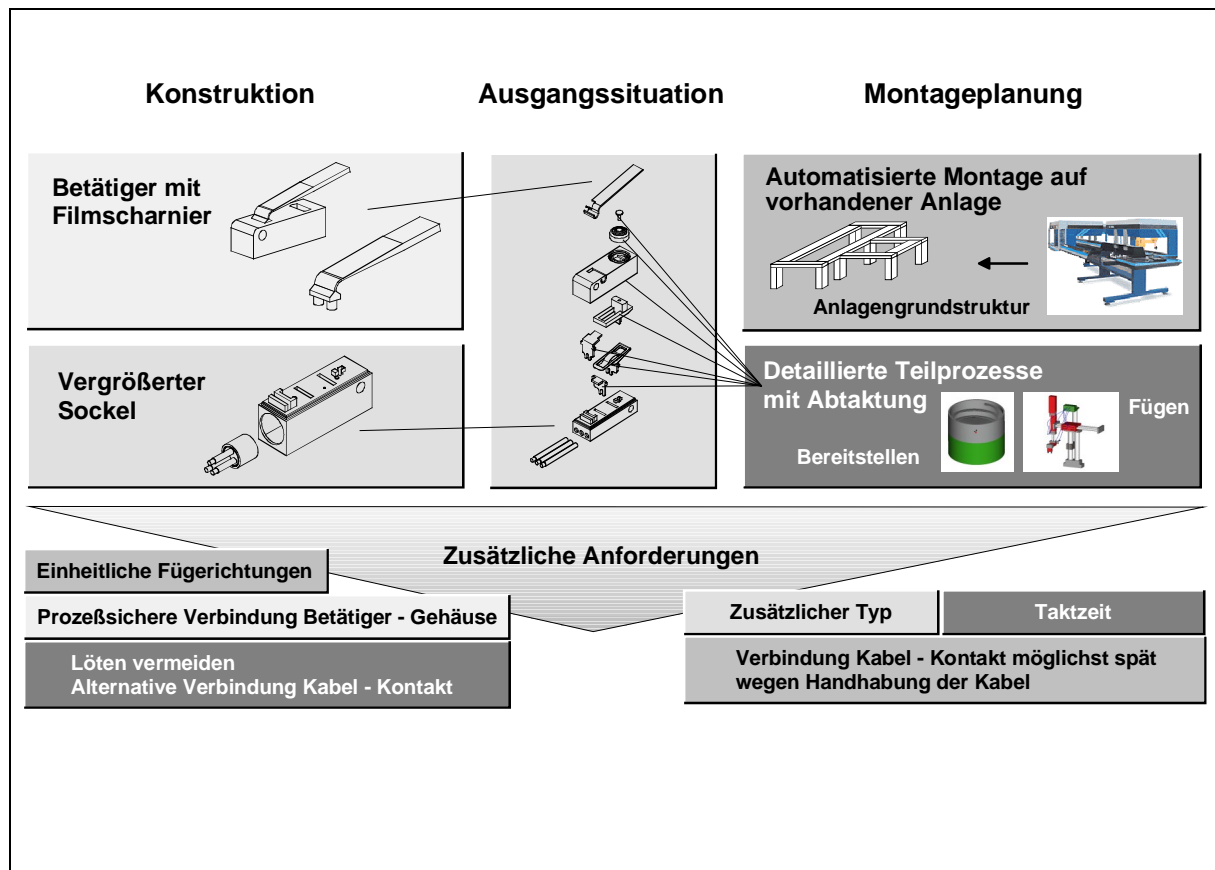


Bild 8: Prinziplösungen für Produkt und Montageanlage

neuer Verbindungsverfahren erfordert aber auch den Aufbau des entsprechenden Technologiewissens im Montagebereich. Neben der Verbesserung der Informationsbereitstellung ist die kooperative Zusammenarbeit von Konstrukteuren und Planern bei der Auswahl und Gestaltung der Verbindungsverfahren daher unerlässlich.

## 7.2 Prinziplösungen für Produkt und Montageanlage

Nach der gemeinsamen Festlegung der funktions- und produktionsseitigen Anforderungen und Randbedingungen erfolgt die schrittweise Festlegung der Eigenschaften des Produkts und der Montageanlage durch den Konstrukteur und Montageplaner. Ausgehend von der Produktstruktur beginnt der Konstrukteur, die neu zu gestalten Einzelteile (Sockel) und Baugruppen (Betätiger) zu konzipieren und zu entwerfen. Parallel hierzu werden vom Planer aber bereits die Teilprozesse „Bereitstellen“ und „Fügen“ für die gleichbleibenden Bauteile, wie z.B. Gehäuse und Schnappsystem, festgelegt (Bild 8). In Absprache mit dem Montagewerk wurde durch die Weiterverwendung einer vorhandenen Montageanlage die Anlagengrundstruktur festgelegt. Die Abtaktung kann dann basierend auf der Anlagenstruktur und den Prozesszeiten der bereits geplanten Teilprozesse bestimmt werden.

Vor allem in den gestaltenden Phasen der Produktkonstruktion wird im ständigen Wechsel von Synthese- und Analyseschritten das Produkt optimiert und in seinen

Merkmale konkretisiert und verändert. Jede Konkretisierung erfordert eine Überprüfung aus Produkt- und Montagesicht, die möglicherweise zu einer Überarbeitung, Anpassung der Anforderungen und im schlimmsten Falle zu einem Verwerfen der Ergebnisse führt. Die zeitgleiche Durchführung von Planungsaufgaben basierend auf Vorabinformationen, birgt somit das Risiko einer mehrmaligen Ausführung der einzelnen Planungsaufgaben. Durch den Einsatz von Rechnerwerkzeugen kann insbesondere die Überprüfung und Überarbeitung der Planungsergebnisse stark vereinfacht werden, so daß für den Planer nur ein geringfügiger Mehraufwand durch die frühzeitige Planung mit Vorabinformationen entsteht. Der Einsatz der automatisierten Montageanlage bedingt die Anpassung der produkt- und produktionsseitigen Anforderungen hinsichtlich der Fügerichtungen und automatisierungsgerechten Handhabung. Auf der Grundlage der zusätzlichen Anforderungen werden vom Konstrukteur und Montageplaner dann neue Prinziplösungen generiert. Vorteilhaft für den Montageablauf ist die einheitliche vertikale Fügerichtung. Die einzige Abweichung von dieser Fügerichtung stellte die bisherige Montage des Betätigers dar, der horizontal in das Gehäuse eingeschoben werden muß. Es wurde deshalb eine Alternative entwickelt, die eine vertikale Fügerichtung des Betätigers erlaubt.

Die Abmessungen des Anschlußkabels erfordern eine Änderung des Sockels und erschweren damit aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit den Lötprozeß. Für Abhilfe kann hier eine alternative Verbindungstechnik sorgen.

Die Untersuchung der notwendigen Montageprozesse hinsichtlich einer möglichen Automatisierung ergab, daß eine relativ große Anzahl von Prozessen gut automatisierbar ist. Die Prozesse des Ultraschallschweißens und des Kontaktierens der Kabel müssen auf jeden Fall automatisch durchgeführt werden, da ansonsten die Prozeßparameter nicht zuverlässig eingestellt und konstant gehalten werden können. Dabei kann der Prozeß des Ultraschallschweißens vollautomatisiert werden, während für das Kontaktieren der Kabel nur eine teilautomatisierte Lösung aufgrund der Formlabilität des Materials möglich ist.

### **7.3 Gemeinsame Bewertung der Lösungskonzepte**

Zur Überprüfung und Absicherung der geplanten Produkt- und Produktionseigenschaften wurden bereits in diesem frühen Stadium rechnergestützte Simulationswerkzeuge, wie z.B. 3D-Bewegungssimulation (ROßGODERER U.A. 1995) oder Ablaufsimulation eingesetzt, um Aussagen über Prozeßzeiten oder das dynamische Verhalten des Montagesystems zu erhalten.

Die gemeinsame Bewertung der einzelnen Lösungskonzepte (Bild 9) ergab, daß Überarbeitungen (Sockel, Anlagenstruktur) notwendig sind, aber auch teilweise die Ergebnisse verworfen werden müssen (Schneidklemm-Verbindung, Betätiger). Durch neue technologische (Lötautomat) und konstruktive (Zylinder-Schnappverbin-

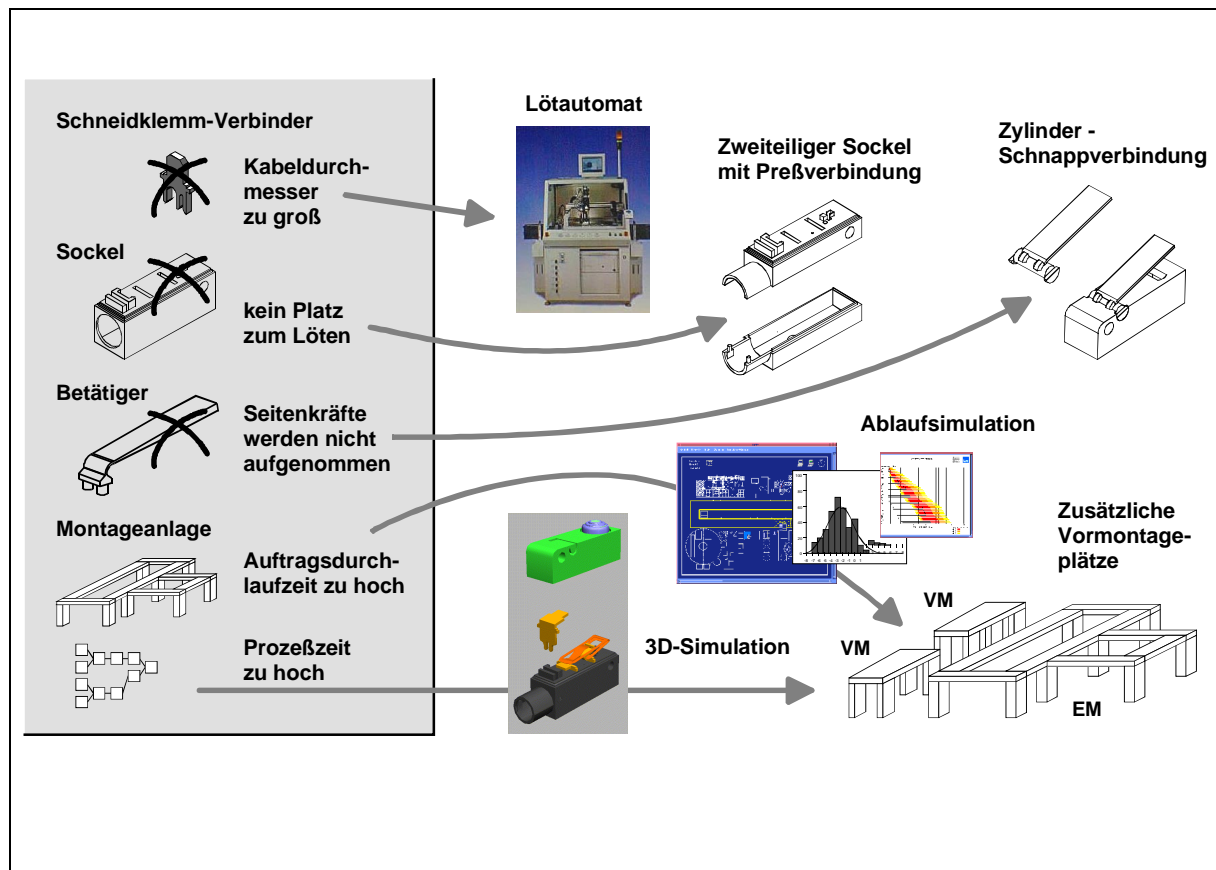


Bild 9: Gemeinsame Bewertung der Lösungskonzepte

dung) Lösungen konnten die Anforderungen erfüllt werden. In einem nächsten Entwicklungsschritt erfolgte die Überarbeitung und Neugestaltung.

Wichtigste Randbedingung beim Einsatz der Schneidklemm-Verbindungstechnik als Alternative zum Löteten ist der Durchmesser der Litzen. Der aufgrund der Leistungsmerkmale des S 870 notwendige Leitungsquerschnitt macht den Einsatz von Schneidklemmen unmöglich. Die eingeschränkte Zugänglichkeit für das Löteten der Kabel kann durch die Teilung des Sockels ausgeglichen werden, so daß das Kontaktieren durch den Einsatz eines Lötautomaten automatisiert werden kann.

Das Lösungskonzept für den Betätiger sieht ein Filmscharnier vor. Die Verbindung Betätiger - Gehäuse wird durch Einpressen realisiert. Das Filmscharnier erlaubt aber keine Aufnahme von Seitenkräften und mußte deshalb verworfen werden. Zur Lösung des Problems der unterschiedlichen Fügerichtung und der Verschmutzung wurde daher ein Konzept einer Schnappverbindung entwickelt, die ein linear vertikales Einpressen des Betätigers ermöglicht.

Die Analysen des dynamischen Verhaltens des Montagesystems erfordern die Anpassung der Anlagenstruktur. Der Einsatz von zwei manuellen Vormontagearbeitsplätzen in Verbindung mit dem automatisierten Montagesystem für die Endmontage erfüllt die Anforderungen hinsichtlich Taktzeit und Durchlaufzeit.

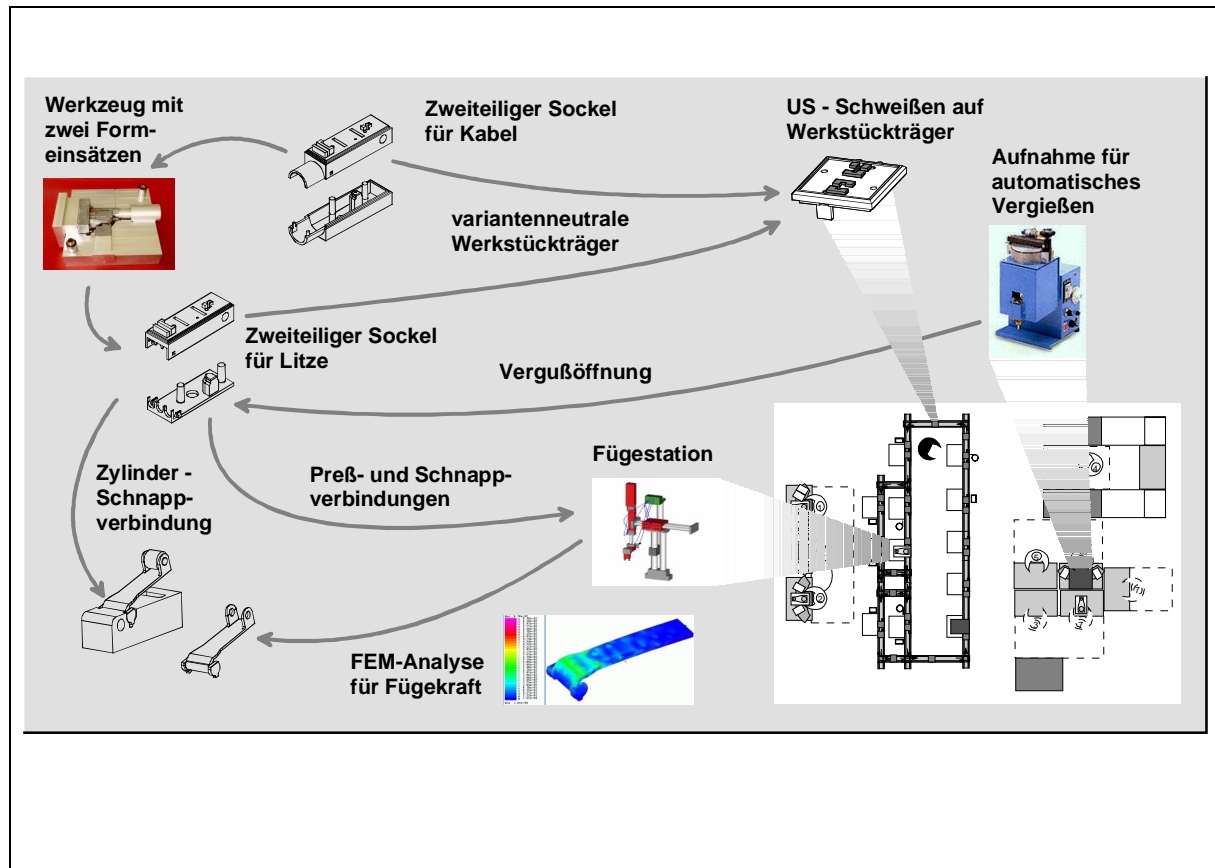


Bild 10: Vernetzte Feingestaltung der Lösungskonzepte

## 7.4 Feingestaltung der Lösungskonzepte

Nach der Festlegung der Lösungskonzepte erfolgt die Feingestaltung in enger Zusammenarbeit von Konstrukteur und Montageplaner. Die Berücksichtigung der Wechselwirkungen und Abhängigkeiten erfordert die gemeinsame Gestaltung.

Die Entscheidung, den neuen Sockel für die Kabelversion zweiteilig zu gestalten und dafür ein neues Spritzgußwerkzeug mit zwei Formeinsätzen zu verwenden, ermöglicht die Umgestaltung des Sockels für die Litzenversion, so daß beide Sockel auf einem Werkstückträger ohne zusätzliche Handhabung mit dem Gehäuse mit Ultraschall verschweißt werden können (Bild 10). Voraussetzung dafür ist aber ein variantenneutraler Werkstückträger zur Aufnahme aller Typen und Varianten. Die erforderliche Umgestaltung des Sockels ermöglicht aber auch ein automatisches Vergießen der Sockel. Die verwendeten Preß- und Schnappverbindungen müssen unter Berücksichtigung der Fügekräfte des Handhabungssystems mit Hilfe der FEM-Analyse ausgelegt werden. Die Gestaltung des Anlagenlayouts erfolgt unter Berücksichtigung der Randbedingungen (vorhandene Montagekomponenten und bekannte Technologien) sowie der Stückzahlanpaßbarkeit der Montagekapazität.

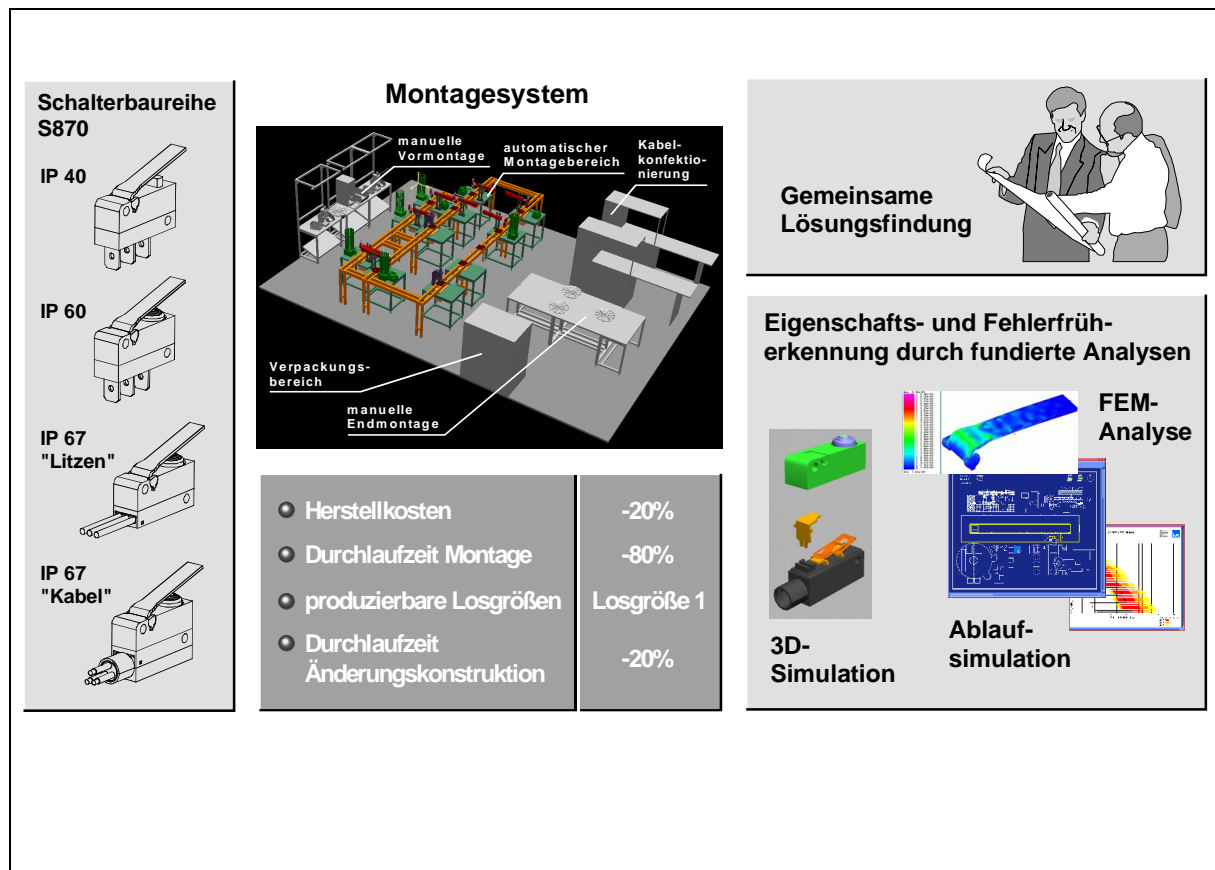


Bild 11: Gemeinsame Gestaltung von Produkt und Montageanlage

## 7.5 Gemeinsame Gestaltung von Produkt und Montageanlage

Im Rahmen der Änderungskonstruktion am Betätigungselement des Schnappschalters wurde die vorgestellte Vorgehensweise zur Integration von Konstruktion und Montageplanung bei der Schaltbau AG eingeführt. Vergleiche mit anderen Änderungskonstruktionen ergaben, daß die benötigte Zeit für die Änderungsdurchführung um ca. 20% reduziert werden konnte (Bild 11).

Die frühzeitige Einbindung der planerischen Bereiche in den Entwicklungsprozeß erfordert jedoch eine Vielzahl von Überprüfungen und Überarbeitungen der Planungsergebnisse. Durch den Einsatz leistungsstarker Analysewerkzeuge, kann jedoch die Evaluierung und Anpassung der Planungsergebnisse stark vereinfacht bzw. teilweise sogar automatisiert werden, so daß für den Montageplaner nur ein geringfügiger Mehraufwand durch die frühzeitige Planung mit Vorabinformationen entsteht, die Gesamtentwicklungszeit aber deutlich verkürzt werden kann.

Das für den neuen Schnappschalter entwickelte varianten- und stückzahlflexible Montagekonzept ermöglicht eine bedarfsorientierte Veränderung der Produktionsbedingungen durch stückzahlangepaßte Ausbaustufen. Ausgehend von einer weitgehend manuell ausgelegten Kleinserienmontage lassen sich der Automatisierungs-

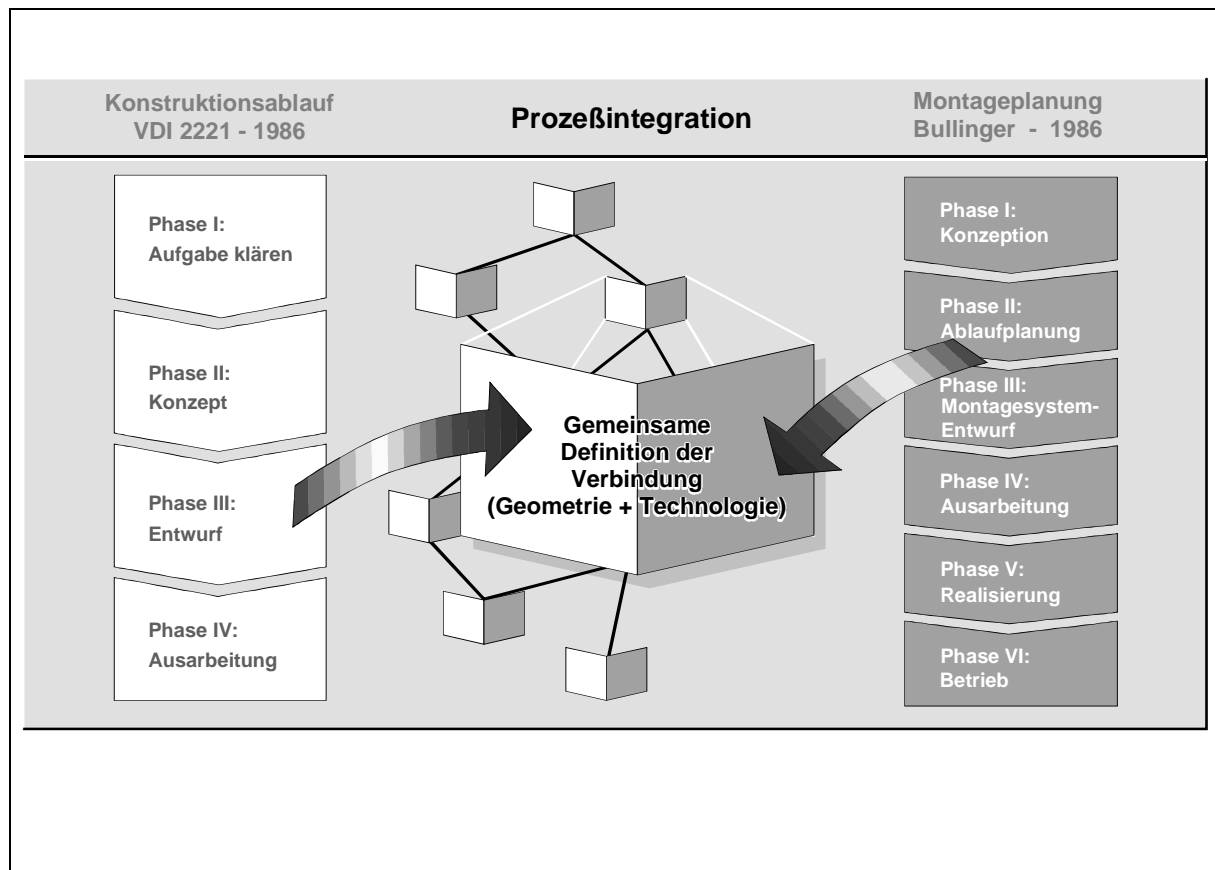


Bild 12: Verallgemeinerung der Prozeßintegration

grad und die Kapazität mit der Stückzahlsteigerung ausbauen. Beides äußert sich in reduzierten Kosten und verkürzten Durchlaufzeiten. Anstatt Betriebsaufträgen können jetzt Kundenaufträge bearbeitet werden. Das Montagesystem ist in der Lage, Losgröße eins zu produzieren. Dabei sind auch an den manuellen Arbeitsplätzen keinerlei Rüstvorgänge notwendig. Es kann deshalb ein Wechsel von der planzahl-orientierten zur kundenbezogenen Endmontage erfolgen.

## 8 Prozeßintegration

Das Beispiel hat gezeigt, daß die gemeinsame Bearbeitung von Teilschritten zahlreiche Vorteile bringt. In der Praxis ergibt sich aber bei der Betrachtung eines Entwicklungsprozesses meist folgendes Bild: Die Konstruktion hat ihre abgeschlossene Methodik, beispielsweise nach der VDI 2221. Ebenso gibt es für die Montageplanung eine in sich geschlossene Systematik, etwa die nach BULLINGER (1986). Im Zuge der gemeinsamen Vorgehensweise stellt sich nun heraus, daß es neue Aufgabenstellungen gibt, die in der herkömmlichen, zweigeteilten Betrachtung von Entwicklungsprozessen nicht optimal lösbar sind. Es muß also von der Polarisierung zwischen Konstruktion und Montageplanung abgewichen werden und eine neue Definition der Arbeitsschritte in der Entwicklung erfolgen (Bild 12).

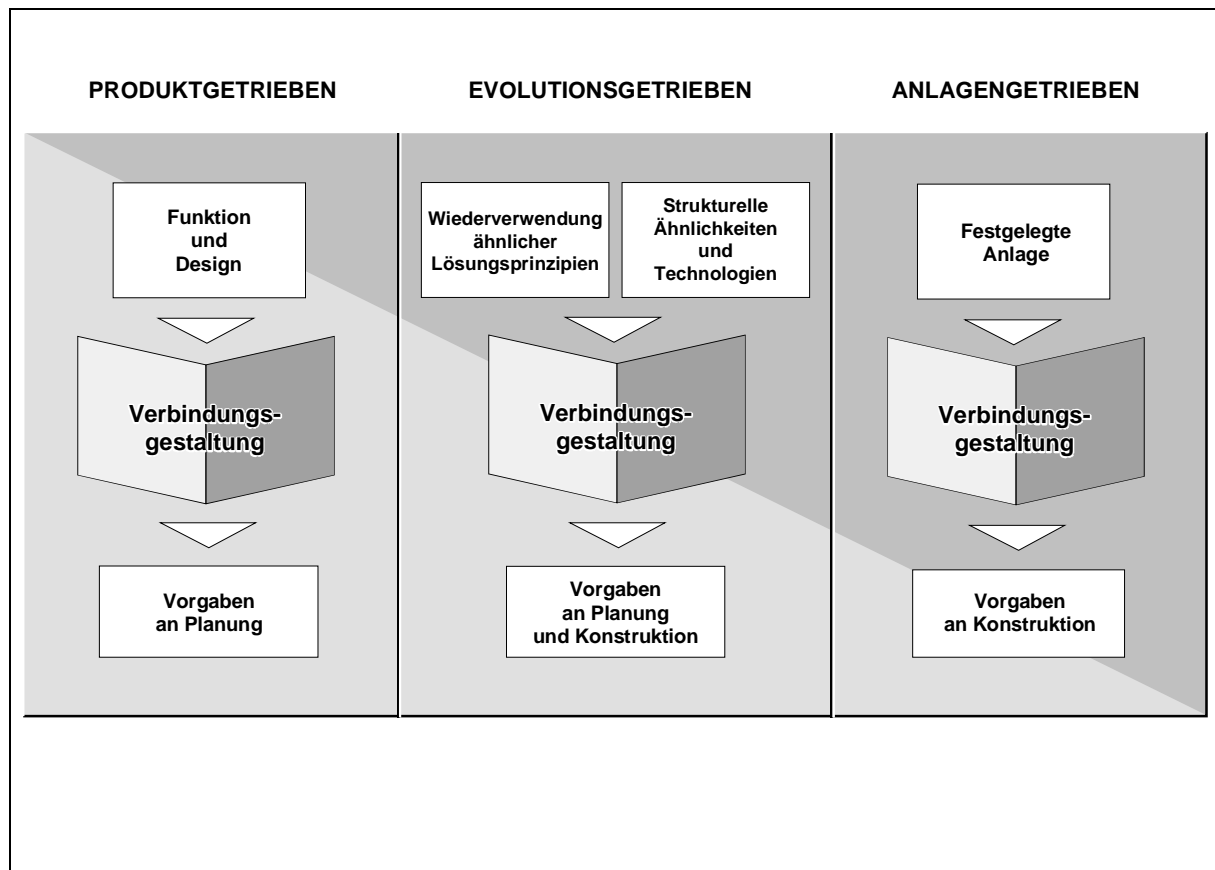


Bild 13: Prozeßbaustein am Beispiel Verbindungsgestaltung

Das Ziel ist, nur noch einen gemeinsamen, integrierten Entwicklungsprozeß zu haben statt der zwei separat ablaufenden, mehr oder weniger gut synchronisierten Teilprozesse von Konstruktion und Montageplanung. Dieser *integrierte Prozeß* besteht aus einzelnen Bausteinen, welche die jeweiligen neu definierten Aufgaben beinhalten und in der Regel gemeinsam abgearbeitet werden. Ein Beispiel eines solchen *Prozeßbausteins*\*\* ist die gemeinsame Definition der Verbindung zweier Produktkomponenten. Hierunter wird die Auswahl der entsprechenden Technologie (Kleben, Schrauben, Schweißen...) und die entsprechende konstruktive Gestaltung der Verbindung verstanden.

## 9 Beispiel: Prozeßbaustein Verbindungsgestaltung

Ein Prozeßbaustein beinhaltet eine Tätigkeit, die gemeinsam vom Konstrukteur und dem Montageplaner ausgeführt wird. Entsprechend den drei möglichen Treibern im Entwicklungsprozeß kann die Entscheidungsmacht zwischen den beiden variieren (Bild 13). Im Fall der produktgetriebenen Ausprägung gibt die Konstruktion ihre

\*\* eine detailliertere Beschreibung des Aufbaus eines einzelnen Bausteins findet sich bei REINHART U.A. (1997).

Randbedingungen vor und erarbeitet basierend auf diesen Eingangsgrößen gemeinsam mit der Montageplanung ein mögliches Konzept. Am konkreten Beispiel der Verbindungsgestaltung kann die Vorgabe, eine lösbare Verbindung für ein Sichtteil zu definieren, unter Berücksichtigung von geometrischen Größen aber auch Prozeßkriterien zur Technologie Klipsen führen. Maßgeblichen Einfluß auf diese Entscheidung übt hier die Konstruktion unter Berücksichtigung von Funktions- bzw. Designkriterien aus. Die Entscheidung stellt dementsprechend für die Planung die Anforderung dar, den Prozeß umzusetzen. Die evolutionsgetriebene Ausprägung des Bausteins orientiert sich an vorhandenen Strukturmustern in Konstruktion und Planung. Dementsprechend gehen in gleichem Maß produkt- und anlagenbestimmende Eingangsgrößen in den Baustein ein.

Die Entscheidung für eine erarbeitete Lösung wird dadurch gleichmäßig von beiden Seiten getragen und stellt damit sowohl eine Anforderung an die Konstruktion als auch an die Planung dar. Am konkreten Beispiel kann das konstruktive Ziel, eine nicht lösbare Verbindung zu schaffen, unter Berücksichtigung des Planungsziels, 'Weiterverwendung einer bestehenden Ultraschallschweißanlage' dazu führen, die US-Technologie auszuwählen. Für die Konstruktion bedeutet dies eine derartige Auslegung der Bauteile, daß eine gute Energieeinleitung und gleichmäßige Energieverteilung möglich ist. Für die Planung hat die Entscheidung zur Folge, daß der Prozeß an das konkrete Produkt angepaßt werden muß (z.B. Einstellung der Prozeßparameter, Änderung der Vorrichtungen). In der dritten Ausprägung wird die Entscheidung innerhalb des Prozeßbausteins von der Anlagenplanung dominiert. Die Eingangsgröße für die Festlegung der Verbindungsgestaltung ist hierbei die Berücksichtigung einer festgelegten Anlage. Als konkretes Beispiel kann das Vorhandensein einer automatisierten Schraubstation ohne Hinzunahme konstruktiver Randbedingungen zur Technologie Schrauben führen. Diese Entscheidung bedeutet ausschließlich eine Anforderung an die Konstruktion, die die Gestaltung der Schraubverbindung unter Beachtung der Anlagenparameter ausführen muß.

## 10 Konfiguration des Entwicklungsprozesses

Im Verlauf einer Entwicklung werden viele derartige Einzelschritte durchgeführt, wie hier am Beispiel der Verbindungsgestaltung aufgezeigt. Da aber jeder Entwicklungsprozeß firmen- und projektspezifisch ist, müssen die einzelnen Bausteine beliebig miteinander verknüpfbar sein. Es ist nicht mehr möglich, einen einzigen allgemeingültigen Ablauf für alle Anwendungsfälle zu definieren, da die Art und Reihenfolge der anfallenden Aufgaben von Anwendungsfall zu Anwendungsfall unterschiedlich sein werden.

Der Ansatz der Prozeßbausteine sieht aus diesem Grund einen Baukasten vor, der mit einem Regelwerk ausgestattet ist, wie man zum jeweiligen passenden Ablaufplan des integrierten Entwicklungsprozesses gelangt (Bild 14). Der erste Schritt wird von den Randbedingungen des Unternehmens bestimmt. Jedes Unternehmen hat ent-

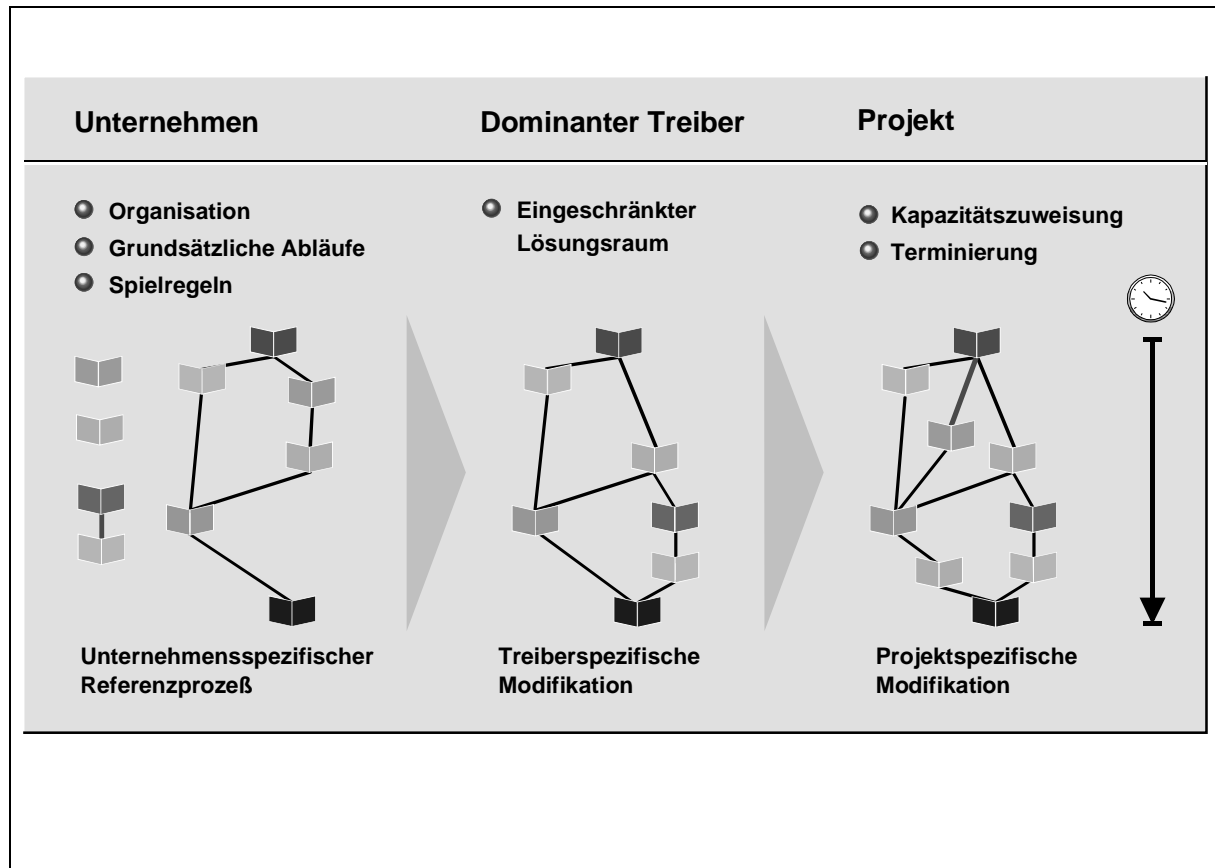


Bild 14: Kriterien zur Konfiguration des Entwicklungsprozesses

sprechend seiner Organisation grundlegende Abläufe, etwa für Neuentwicklung und Variantenkonstruktion, selbst individuell festgelegt. Daneben gibt es festgelegte Teilprozeßketten, die als Einheit in den Gesamtprozeß bei Bedarf eingebettet werden können. Diese bilden damit das Grundgerüst für jeden Entwicklungsprozeß in der Firma und somit den Referenzprozeß.

Die zweite Stufe der Konfiguration erfolgt nach dem dominantesten Treiber eines Entwicklungsprozesses. Lautet die Randbedingung eines Entwicklungsprozesses etwa 'Montage im Werk 3' so ist bspw. die dort existierende Anlage der dominante Treiber und der Lösungsraum der Produktgestaltung ist reduziert.

Zudem kann die Anzahl der Bausteine im Entwicklungsprozeß verändert werden. Es erfolgt eine treiberspezifische Modifikation des Referenzprozesses.

In der dritten Stufe schließlich erfolgt die projektspezifische Konfiguration. Das Netz der Bausteine erhält den Feinschliff, Kapazitäten werden zugewiesen, Meilensteine und Termine werden festgesetzt.

## **11 Neue Anforderungen an die Organisation und die Mitarbeiter**

Für die erfolgreiche Umsetzung dieses Ansatzes müssen in den Firmen die organisatorischen Randbedingungen geschaffen werden.

Zum einen werden durch die Konfiguration der Entwicklungsprozesse die bisher gültigen, starren Abläufe außer Kraft gesetzt. Jedes Projekt kann einen anderen, produktspezifischen Ablauf haben. Zum anderen müssen die bisherigen starren Abteilungsgrenzen zwischen Produktkonstruktion und Planung aufgeweicht werden, um die Basis für eine Kooperation zu legen, es muß unvoreingenommen zusammengearbeitet werden können.

Die größten Anforderungen stellt das Konzept aber an die einzelnen Mitarbeiter. Bei der Einführung der vorgeschlagenen Vorgehensweise erfolgt eine Organisationsänderung, die das klassische Rollenverständnis von Planer oder Konstrukteur in Frage stellt. Zudem werden die bekannten fixen Abläufe abgeschafft.

Durch die intensive Zusammenarbeit ist einerseits nicht immer eine direkte Zurechnung von Arbeitsergebnissen zu einzelnen Köpfen möglich. Früher bestimmte allein der Konstrukteur die Gestalt des Produktes, nun hat aber auch der Montageplaner einen Einfluß darau. Zudem müssen die Bearbeiter lernen, auch unfertige, unreife Vorabinformationen weiterzugeben und auf der anderen Seite auch mit unsicheren Daten zu arbeiten. Es muß dann nicht der Fehler eines Einzelnen sein, wenn Änderungen nötig sind und es ist auch keine ‚Schande‘, Entwicklungsschritte erneut durchzuführen, weil die Rückmeldung aus der anderen Betrachtungsweise zu neuen Erkenntnissen geführt hat.

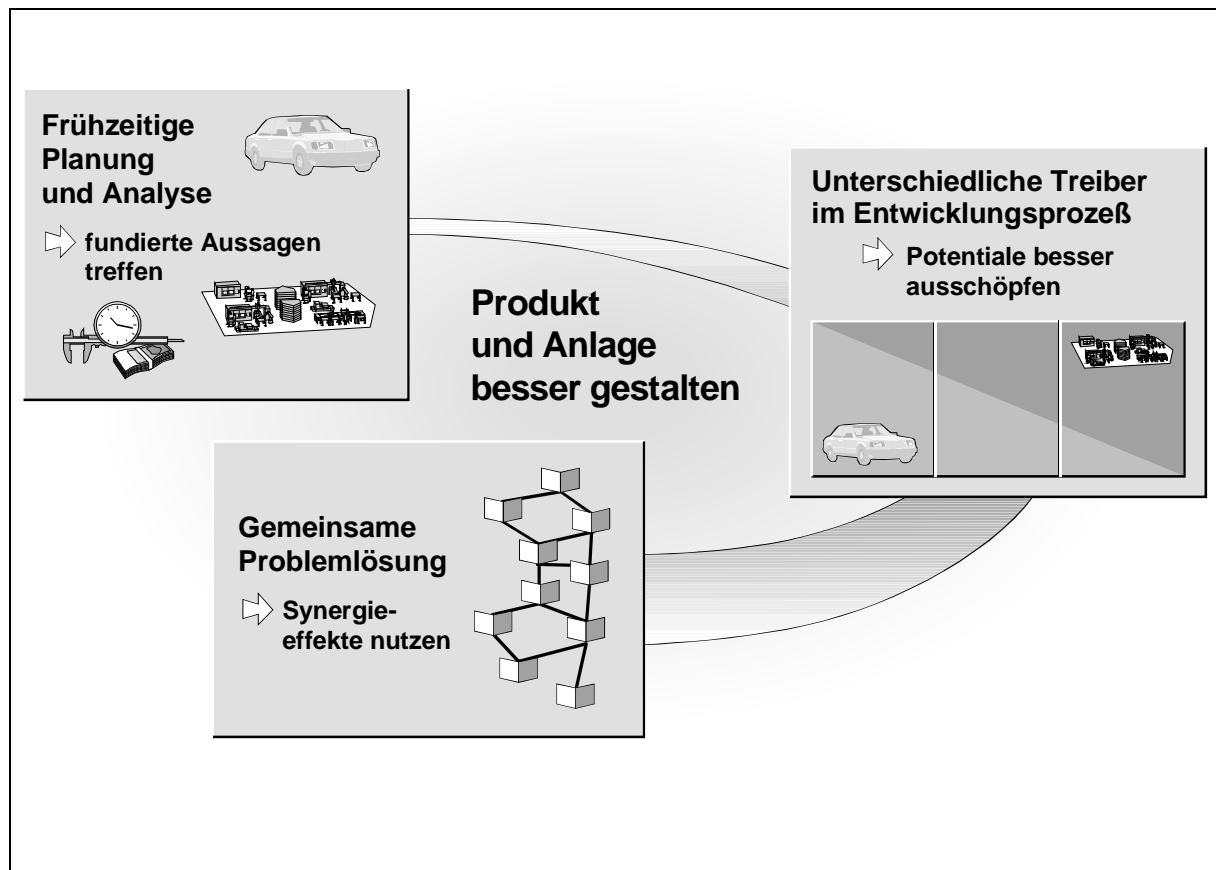
Für die enge Zusammenarbeit ist es umso wichtiger, wenn die Projektbeteiligten auch auf der persönlichen Ebene ‚miteinander können‘, dies ist bei der Teamzusammenstellung zu beachten.

Am iw b werden derzeit Erfahrungen in der Umsetzung der Methodik des Cooperative Engineering bei Industriepartnern gesammelt, um allgemeine Empfehlungen für eine Einführungsstrategie erarbeiten zu können.

## **12 Zusammenfassung**

Beim heute weit verbreiteten Verständnis von SE wird oftmals nicht optimal zusammengearbeitet.

Ein erster Verbesserungsschritt ist ein frühzeitiger Beginn der konkreten Planungstätigkeiten, das erlaubt fundierte Analysen und liefert somit schneller Grundlagen für eine Bewertung (Bild 15).



*Bild 15: Zusammenfassung*

Ein darauf aufbauender Gedanke ist, daß es in einem Produktentwicklungsprozeß durchaus unterschiedliche Treiber gibt. Denn nicht immer gibt das Produkt die Randbedingungen vor, denen sich die Montageplanung unterzuordnen hat, es können fallspezifisch auch die vorhandene teure automatisierte Anlage oder die im Betrieb beherrschten Prozesse sein. Nur durch Berücksichtigung der jeweiligen Treiber ist es möglich, die vorhandenen Potentiale besser auszuschöpfen.

Der dritte Punkt zur Verbesserung von Entwicklungsprozessen ist die Auflösung der bisher bereichsspezifischen Vorgehensweisen und Einführung der gemeinsamen Bearbeitung von zusammengehörigen Aufgaben. Statt der beiden weitestgehend isoliert stattfindenden Abläufe gibt es nur noch einen integrierten Prozeß. Durch das gegenseitige Einbringen des Fachwissens bei der Aufgabenbearbeitung können Synergieeffekte genutzt werden, Probleme werden sofort behandelt und die Änderungsschleifen sind kurz.

Alle drei Punkte zusammengekommen liefern einen wesentlichen Beitrag, damit in Zukunft Produkt und Anlage noch besser und schneller gestaltet werden können.

## Literatur

BULLINGER 1986

Bullinger, H.J.: Systematische Montageplanung - Handbuch für die Praxis. München, Carl Hanser, 1986.

CUIPER U.A. 1996

Cuiper, R.; Feldmann, C.; Roßgoderer, U.: Rechnerunterstützte Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung. ZWF 91 (1996) 7-8, S. 338 – 341.

REINHART U.A. 1997

Reinhart, G.; Reindl, P.; Murr, O.: Gestaltung von Digital Mock-Up Entwicklungsprozessen. IM Information Management and Consulting Sonderheft 1997, S. 22 – 25.

REINHART & DÜRRSCHMIDT 1998

Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.: Montagesysteme für langfristige Stückzahlchwankungen. ZWF 93 (1998) 4, S. 135 – 138.

ROßGODERER U.A. 1995

Roßgoderer, U.; Bauer, L.; Kugelman, D.: Aufbau und Programmierung von Roboterzellen mit USIS. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): 3D-Simulation – Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel, S. 51 – 66 (iwb Seminarberichte (1995) 10).