

Design for Reuse of Production Equipment

Waldemar Walla
Group Research & Advanced Engineering
Daimler AG

1 Einleitung

Durch Globalisierung öffnen sich der Automobilindustrie neue Absatzmärkte, gleichzeitig verstärkt sich jedoch der internationale Wettbewerbsdruck. Durch unterschiedliche regionale Produkthanforderungen und gesetzliche Bestimmungen ist eine immer stärkere Individualisierung der Produkte zu erkennen [1]. Deshalb müssen sich die Automobilhersteller stärker an Kundenanforderungen orientieren und ihre Produktportfolios durch eine immer größer werdende Variantenvielfalt erweitern. Allein 2008 sind in der Automobilindustrie weltweit schätzungsweise 3000 neue Modelle und Modellvarianten auf den Markt gekommen [2]. Die steigende Anzahl an Produktvarianten stellt die Produktentwicklung und Produktionsplanung vor neue Herausforderungen. Eine Strategie zur Beherrschung der hohen Produktvarianz in der Automobilproduktion ist die Integration von mehreren Produkten auf einer Produktionslinie. Sollen Produkte, die nacheinander auf den Markt kommen, auf derselben Produktionsanlage gefertigt werden, so muss dies möglichst frühzeitig im Produktentwicklungsprozess berücksichtigt werden [3].

In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, mit deren Hilfe während der Produktentwicklung die Anforderungen einer existierenden Produktionsanlage frühzeitig berücksichtigt werden, sodass mehrere Produkte auf einer Anlage gefertigt werden können. Abschließend wird diese Methode am Beispiel von Widerstandspunktschweißanlagen aus dem automobilen Karosserie-

rohbau demonstriert. Dem Produktentwickler wird im CAD-System dargestellt, wo und wie viele Schweißpunkte er auf dem Bauteil platzieren darf. Um zeit-
aufwendige Umbaumaßnahmen der Produktionssysteme zu vermeiden, muss unter anderem die Geometrie und die Taktzeit der Produktionsressourcen im Konstruktionsprozess des neuen Produkts berücksichtigt werden. Auf Basis dieser Informationen werden dem Konstrukteur die Grenzen und Möglichkeiten der Produktionsanlage im CAD-System dargestellt. Mit anderen Worten, dem Konstrukteur wird noch vor der Definition von Fertigungsoperationen der Raum auf dem Bauteil sichtbar gemacht, innerhalb dessen die Anlage Fertigungsoperationen durchführen kann. Setzt er zu viele Schweißpunkte oder Punkte außerhalb des zugänglichen Bereichs, so wird dies einen Umbau der Produktionsanlage zur Folge haben. Idealerweise wird er die Schweißpunkte innerhalb des zugänglichen Bereichs setzen und somit wird ein Umbau der Produktionsanlage vermieden.

2 Arten des Reuse von Produktionsressourcen

Da der Produktlebenszyklus immer kürzer wird, übersteigt oftmals die Lebensdauer der Produktionsanlagen die Produktionszeit der Produkte. Daher werden die gebrauchten Komponenten einer Produktionsanlage immer öfter in neuen Produktionsanlagen wiederverwendet. In Bild 1 sind die einzelnen Stufen der Wiederverwendung von Produktionsressourcen aufgelistet.

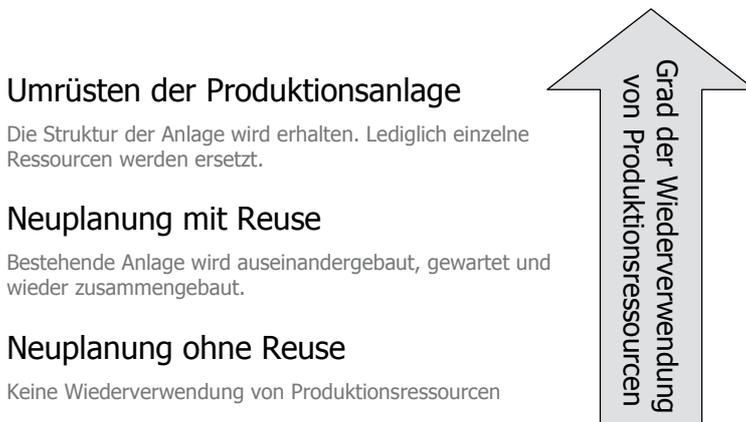


Bild 1: Wiederverwendung von Produktionsressourcen

Bei der Neuplanung von Produktionsanlagen können Produktionsressourcen einer alten Anlage wiederverwendet werden. Dabei werden einzelne Subsysteme, wie beispielsweise Roboter, Schweißzangen oder Dreh-

tische neu verplant. Zuvor muss allerdings die Anlage in ihre Einzelkomponenten zerlegt und anschließend gründlich überholt und gewartet werden. Dennoch können dadurch bis zu 80% der Investitionskosten gegenüber einer Neuanschaffung eingespart werden [4].

Wird eine Produktionsanlage lediglich auf ein neues Produkt umgerüstet, so bleibt die gesamte Anlagenstruktur erhalten (dieser Ansatz wird auch als Re-Tooling bezeichnet). Lediglich die produktspezifischen Anlagenbestandteile, wie beispielsweise Spann- und Fixiervorrichtungen, werden neu angefertigt. Die Investitionssumme einer auf diese Weise umgebauten Produktionsanlage beläuft sich auf 30% bis 40% der ursprünglichen Investitionskosten einer neuen Anlage [4]. Wird die Anlagenstruktur beibehalten, so hat dies einen großen Einfluss auf die Produktentwicklung. In Bild 2 ist die Veränderung des Produktentstehungsprozesses unter Berücksichtigung des Re-Tooling Ansatzes vereinfacht dargestellt.

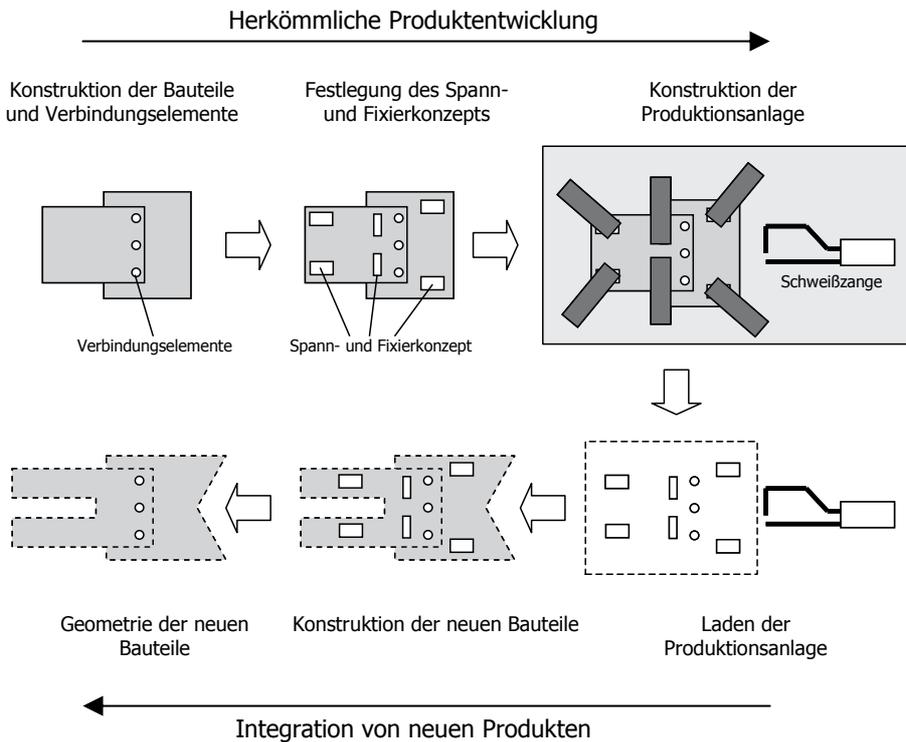


Bild 2: Prozessablauf beim Design for Re-Tooling nach [5]

In der oberen Hälfte der Abbildung sind die einzelnen Schritte von der Bauteilkonstruktion bis hin zu der Betriebsmittelkonstruktion vereinfacht dargestellt. In der unteren Hälfte der Abbildung ist die Konstruktion eines Produkts dargestellt, das auf der existierenden Anlage gefertigt werden soll. Dabei wird das neue Produkt an die Produktionsressourcen der existierenden Anlage angepasst.

3 Frühzeitige Beeinflussung der Produkt- und Produktionsplanung

Die Produkthersteller müssen sich an der steigenden Anzahl an Kundenanforderungen orientieren und ihre Produktportfolios durch eine immer größer werdende Variantenvielfalt erweitern. Dieser Trend stellt sowohl die Produktentwicklung als auch die Produktionsplanung vor große Herausforderungen. Um die hohe Produktvarianz zu beherrschen, wird versucht neue Produkte auf bestehenden Produktionslinien zu integrieren. Hierfür muss bereits das erste Produkt vorausschauend konstruiert und dessen Produktion geplant werden. In Bild 3 ist der Produktentwicklungsprozess eines Produkts A vereinfacht dargestellt. Um den Produktentwicklungsprozess erheblich zu beschleunigen, werden Vorgänge in der Produktionsplanung und Produktentwicklung im Sinne von *Simultaneous Engineering* parallelisiert. Hierfür ist allerdings ein enger Informationsaustausch und eine verstärkte Kommunikation zwischen der Produktentwicklung und der Produktionsplanung erforderlich [6].

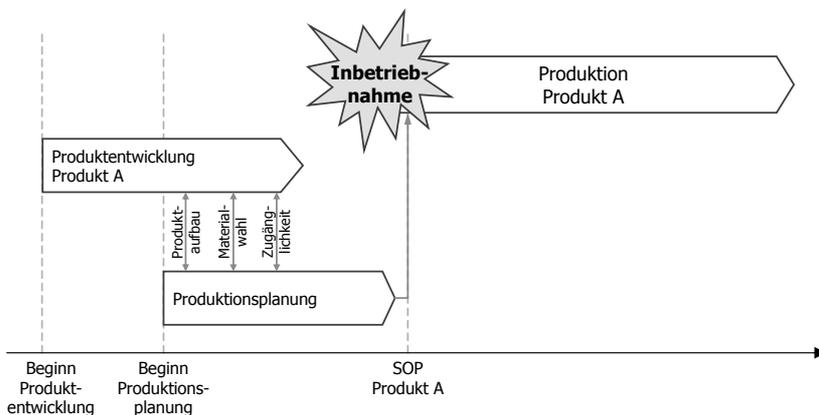


Bild 3: Übersicht Produktentwicklung und Produktionsplanung

Bei der Planung von Produktionsanlagen kommen heute viele unterschiedliche Werkzeuge der Digitalen Fabrik zum Einsatz [7]. Allerdings werden der-

zeit diese Werkzeuge meistens erst in der Serienentwicklung in der Produktionsplanung zur Produktabsicherung eingesetzt. Soll eine Produktionsanlage wiederverwendet werden, so müssen folgende Restriktionen bereits bei der Planung der Anlage berücksichtigt werden:

- **Zusätzlicher Platz im Anlagenlayout:** Es ist nicht ausgeschlossen, dass das zukünftige Produkt mit den in der Anlage vorhandenen Ressourcen gefertigt werden kann. Vorausschauend sollte zusätzlicher Platz für weitere Werkzeuge eingeplant werden.
- **Auslastung der Produktionsanlagen:** Es müssen Produktionskapazitäten für das neue Produkt vorhanden sein.
- **Zeit für Umbaumaßnahmen:** Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Anlage bei der Integration des neuen Produkts nicht umgebaut werden muss. Dies muss bei der Produktionsplanung des Produkts A berücksichtigt werden.
- **Verwendung von zukunftssicheren Technologien:** Produktionstechnologien werden ständig weiterentwickelt. Dies muss auch bei der Planung von Produktionsanlagen berücksichtigt werden.

Soll ein neues Produkt oder Produktvariante auf einer existierenden Produktionsanlage gefertigt werden, so müssen Anforderungen aus der Produktion möglichst frühzeitig in der Produktentwicklung berücksichtigt werden (vgl. Bild 4).

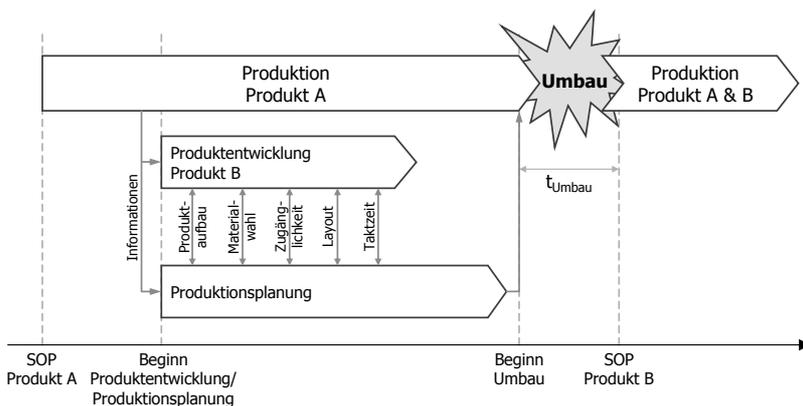


Bild 4: Produktentwicklung und Produktionsplanung bei der Wiederverwendung von Produktionsanlagen

Da die existierende Produktionsanlage bereits im Betrieb ist, sind die Ergebnisse der Produktionsplanung dieser Anlage die Grundlage für die Entwicklung des neuen Produkts (hier Produkt B). Somit kann die Produktionsplanung mit der Produktentwicklung beginnen und das Produkt bezüglich der existierenden Anlage beeinflussen.

Um die Änderungen an der Produktionsanlage möglichst klein und die Umbauzeit kurz zu halten, müssen neue Produkte "ähnlich" aufgebaut sein. Hierfür gibt es beispielsweise in der Automobilindustrie seit einigen Jahren einen starken Trend zur Standardisierung und Modularisierung von Produkten [7]. Nichtsdestotrotz müssen bereits in einer sehr frühen Phase des Produktentstehungsprozesses die Anforderungen der bereits aufgebauten Produktionsanlage berücksichtigt werden [9]. Dieser Sachverhalt wird in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** veranschaulicht. Noch bevor die Produktentwicklung des neuen Produkts (hier Produkt B) beginnt, müssen Informationen der bestehenden Produktionsanlage (hier Produktion des Produkts A) gesammelt und der Entwicklung und Produktionsplanung des neuen Produkts bereitgestellt werden. Dadurch wird unter anderem vermieden, dass frühere fertigungsbezogene Probleme erneut im Entwicklungsprozess auftauchen [10].

Des Weiteren sind in Bild 4 einige Beispiele für Informationen aufgelistet, die zwischen der Produktentwicklung und der Produktionsplanung ausgetauscht werden müssen. Auf den ersten Blick sind Fabriklayout, Geometrie der Produktionsressourcen oder Auslastung der Produktionsanlagen nicht relevant für den Produktentwickler. In der Regel hat der Produktentwickler nicht die Erfahrung und das Wissen des Produktionsplaners und kann damit die Anforderungen einer bestehenden Produktionsanlage nicht in den Produktentwicklungsprozess einbeziehen. An dieser Stelle bedarf es einer Unterstützung des Produktentwicklers. Im Rahmen dieses Beitrags wird eine Methode vorgestellt, mit deren Hilfe Produktionsinformationen für den Konstrukteur "übersetzt" werden.

4 Methode zur frühzeitigen Produktbeeinflussung bezüglich Produktionsanforderungen

Im Rahmen des Beitrags wird eine Methode vorgestellt, mit deren Hilfe die Produktentwicklung beeinflusst werden kann, sodass neue Produkte auf

einer existierenden Produktionsanlage integriert werden können. Die vier Schritte der Methode sind in Bild 5 zusammengefasst.

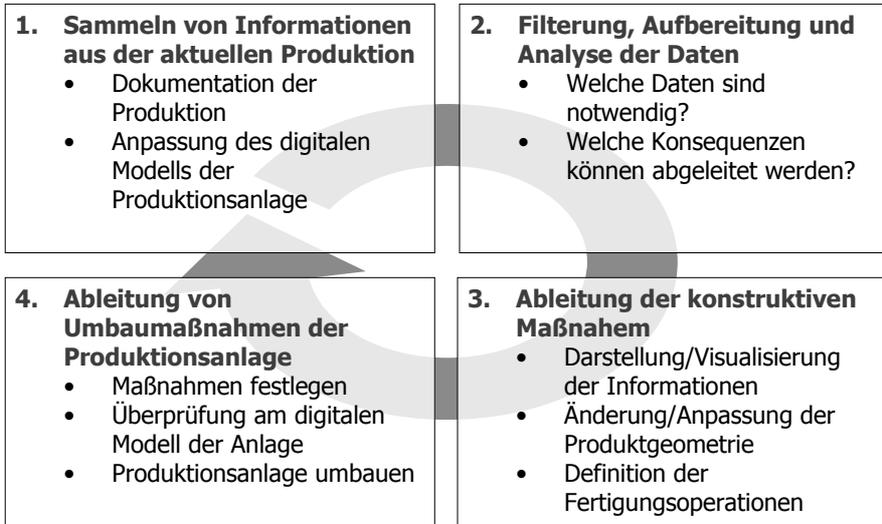


Bild 5: Methode zur Integration von neuen Produkten auf existierenden Produktionsanlagen

Sammeln von Informationen

Im ersten Schritt müssen die wichtigsten Informationen über die existierende Produktionsanlage gesammelt werden. Grundlage hierfür können die Ergebnisse der Produktionsplanung dieser Anlage sein. Da sich eine Anlage während ihres Lebenszyklus durch Wartungs-, Instandhaltungs- oder Modernisierungsarbeiten verändert, müssen alle Umbaumaßnahmen dokumentiert und berücksichtigt werden. Des Weiteren müssen auch Informationen über das auf der Produktionsanlage gefertigte Produkt dem Produktentwicklungsprozess des neuen Produkts zur Verfügung gestellt werden.

Filterung, Aufbereitung und Analyse der Daten

Mit der großen Flut an Informationen aus der Produktionsplanung ist der Produktentwickler in der Regel überfordert. Aus diesem Grund müssen die Informationen analysiert und für den Konstrukteur ansprechend aufbereitet werden. Hierfür eignet sich besonders gut ein CAD-System. Alle für den Produktentwickler wichtigen Informationen werden in einer so genannten

Produktionsumgebung zusammengefasst. Angelehnt an den Aufbau einer Produktionslinie wird für jeden einzelnen Fertigungsschritt eine Produktionsumgebung angelegt. In Bild 6 ist eine beispielhafte Struktur von Produktionsumgebungen dargestellt.

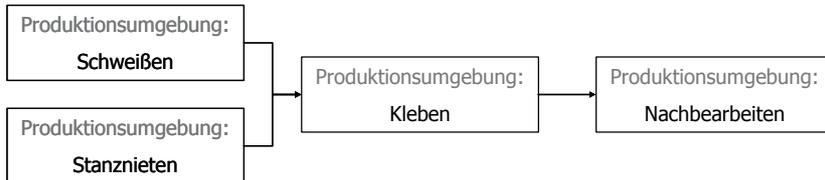


Bild 6: Beispiel für Struktur von Produktionsumgebungen

Die Produktionsumgebung stellt die Freiheitsräume einer Produktionszelle dar. Das heißt dem Konstrukteur werden die Möglichkeiten und Grenzen einer Produktionsanlage dargestellt.

Ableitung der konstruktiven Maßnahmen

Innerhalb der Produktionsumgebung legt der Produktentwickler die fertigungsrelevanten Eigenschaften eines Produkts fest. Da in der Produktionsumgebung alle Grenzen und Möglichkeiten der Produktionsanlage abgebildet sind, sieht der Konstrukteur bereits bei der Definition von fertigungsrelevanten Operationen die Konsequenzen seiner Konstruktion auf die Produktionsanlage. Gestaltet er ein auf der existierenden Anlage nicht fertigbares Produkt, so muss er sich mit dem Produktionsplaner in Verbindung setzen. Die notwendigen Schritte für den Umbau der Anlage müssen dann eingeleitet werden.

Ableitung von Umbaumaßnahmen der Produktionsanlage

Im letzten Schritt wird die Produktion des neuen Produkts digital abgesichert. Hat der Produktentwickler ein auf der existierenden Anlage nicht fertigbares Produkt konstruiert, so muss die Anlage umgeplant und anschließend umgebaut werden.

5 Beispiel: Widerstandspunktschweißanlage

Die vorgestellte Methode wird im Rahmen des Beitrags am Beispiel einer Widerstandspunktschweißanlage aus dem automobilen Karosserierohbau demonstriert. In der in Bild 7 dargestellten Roboterzelle wird der Seitenaufprallschutz einer Fahrertür mit Hilfe von zwei Robotern, an denen jeweils

eine Schweißzange hängt, verschweißt. Die Tür liegt in einer Konzeptvorrichtung, die die Zugänglichkeit der Anlage deutlich einschränkt. Die Taktzeit, die Auslastung und die Geometrie der Produktionsressourcen sind aus dem früheren Produktionsplanungsprozess bekannt.

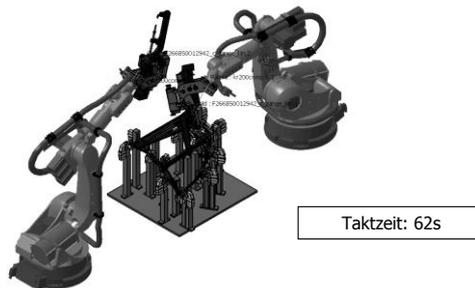


Bild 7: Digitales Abbild der existierenden Produktionszelle

Soll ein weiteres Produkt auf dieser Anlage gefertigt werden, so wird entsprechend der vorgestellten Methode die Produktionsumgebung aufgebaut. Diese ist in Bild 8 dargestellt.

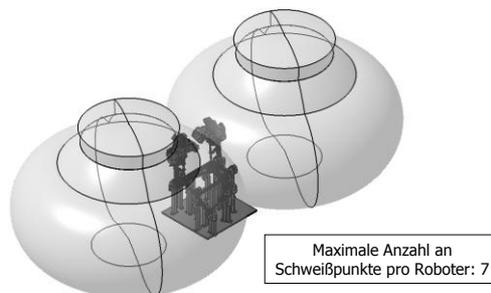


Bild 8: Produktionsumgebung der existierenden Zelle

Die Taktzeit der Produktionszelle beträgt 61s. Diese wird in der Produktionsumgebung in die Anzahl der möglichen Schweißpunkte umgerechnet. Da fürs Einlegen und Aufnehmen der Bauteile in die Spann- und Fixiervorrichtung jeweils 6s benötigt werden und ein Schweißvorgang ca. 7s dauert, kann jeder Roboter 7 Schweißpunkte pro Takt fertigen. Mit der Anzahl der möglichen Schweißpunkte kann der Produktentwickler deutlich mehr anfangen als mit der einfachen Angabe der Taktzeit.

Des Weiteren wird in der Produktionsumgebung der Zugänglichkeitsraum der Schweißanlage mit Hilfe eines Berechnungsskripts ermittelt. Hierfür wurde in der Produktionsumgebung die Geometrie der Schweißzangen und der Spann- und Fixiervorrichtung hinterlegt. Zusätzlich sind auch die Arbeitsräume der beiden Industrieroboter hinterlegt (vgl. Bild 8). Aufgabe des Berechnungsskripts ist die von der Produktionsanlage zugänglichen Flächen auf dem Bauteil im CAD System darzustellen. Zunächst wird der zu untersuchende Bereich festgelegt. Im zweiten Schritt wird die Zugänglichkeit des Schweißwerkzeugs unter Berücksichtigung der Störgeometrie der Spann- und Fixiervorrichtung untersucht. Wurde eine zugängliche Position des Werkzeugs gefunden, so wird anschließend geprüft, ob diese Schweißzangenausrichtung von den Robotern erreicht werden kann. Hierfür wird geprüft, ob der sogenannte Tool Center Point der Schweißzange innerhalb des Arbeitsraums eines der Roboter liegt. In Bild 9 ist das Ergebnis der Zugänglichkeitsanalyse dargestellt. Dabei sind die nicht zugänglichen Bereiche rot und die zugänglichen Bereiche grün eingefärbt. Das heißt, dem Konstrukteur wird noch vor der Definition von Fertigungsoperationen der Raum auf dem Bauteil sichtbar gemacht, innerhalb dessen die Anlage Fertigungsoperationen durchführen kann.

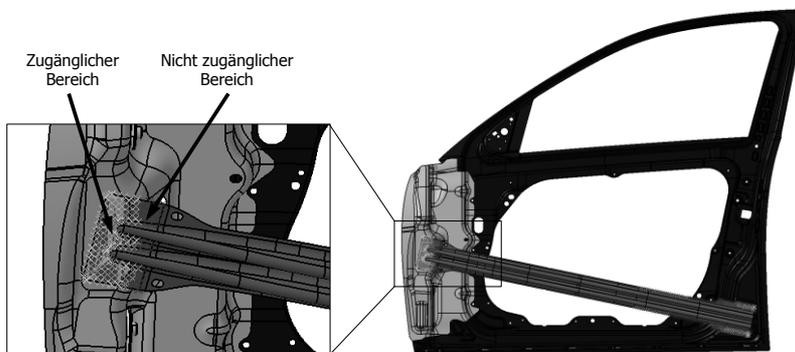


Bild 9: Ergebnis der Zugänglichkeitsanalyse

Wird die Zugänglichkeit einer Produktionsanlage dem Konstrukteur auf diese Weise sehr früh im Produktentwicklungsprozess dargestellt, so kann er ohne einen großen Aufwand die Zugänglichkeit berücksichtigen und somit das Produkt bezüglich Produktionsanforderungen beeinflussen. Die Schweißpunkte wird der Konstrukteur in den zugänglichen Bereichen definieren und falls ein Schweißpunkt beispielsweise aus Gründen der Festigkeit in einem unzugänglichen Bereich notwendig ist, kann der Konstrukteur den Produktionsplaner sehr frühzeitig darüber informieren. Die notwendigen Um-

baumaßnahmen können dann von der Produktionsplanung frühzeitig eingeleitet werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Methode zeigt dem Konstrukteur auf eine sehr einfache Weise die Möglichkeiten und Grenzen einer bestimmten Produktionsanlage. Dadurch kann er sehr frühzeitig im Produktentwicklungsprozess Einfluss auf das Produkt nehmen, so dass das neue Bauteil auf der bereits existierenden Produktionsanlage gefertigt werden kann. Allerdings sind die Zugänglichkeit der Anlage und die Anzahl der möglichen Fertigungsoperationen nicht die einzigen Anforderungen, die frühzeitig berücksichtigt werden müssen. Auch Restriktionen bezüglich der Fügefolge und der Materialwahl sind weitere Faktoren, die unbedingt berücksichtigt werden müssen. Zukünftig muss die vorgestellte Methode erweitert werden, um alle Anforderungen aus der Produktion und Produktionsplanung zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] Brockmeyer, H.; Lucko, A.; Mantwill, F.: "Erweiterte Startmodelle zur Produktbeeinflussung in der Karosserie aus Sicht der Produktionsplanung", in: Tagungsband 6. Gemeinsames Kolloquium Konstruktions-technik, Aachen, 2008.
- [2] Rooks, T.: "Rechnergestützte Simulationsmodellgenerierung zur dynamischen Absicherung der Montagelogistikplanung bei der Fahrzeugneutypplanung im Rahmen der Digitalen Fabrik", Dissertation, Technische Universität Clausthal, 2009.
- [3] Stilian, S.; Walla, W.; Awad, R.; Bittel, V.; Ovtcharova, J.: "Lifecycle oriented Information Model to support the production driven product validation", in: Proceedings of the 6th International Conference on Digital Enterprise Technology, Hong Kong, China, 2009.
- [4] Meichsner, T.: "Migrationskonzept für einen modell- und variantenflexiblen Automobilkarosseriebau", Dissertation, Berichte aus dem IPH, Band 01/2007, PZH Produktionstechnisches Zentrum, Hannover, 2007.
- [5] Burr, H.: "Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau", Dissertation,

Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 44, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2008.

- [6] Westkämper, E.: "Einführung in die Organisation der Produktion", Springer-Verlag, Berlin, 2006.
- [7] Bracht, U.; Spillner, A.: "Die Digitale Fabrik ist Realität - Ergebnisse einer Umfrage zum Umsetzungsstand und zu weiteren Entwicklung der Digitalen Fabrikplanung bei deutschen OEM", in: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Jahrgang 104, Carl Hanser Verlag, München, 2009.
- [8] Bär, T.: "Flexibility Demands on Automotive Production and their Effects on Virtual Production Planning", in: Proceedings of the 2nd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, Toronto, 2008.
- [9] Stanev, S.; Awad, R.; Prieur, M.; Walla, W.; Pölz, S.; Ovtcharova, J.: „Production-oriented Product Validation Method as Support for the Reuse of Production Lines in the Automotive Industry“, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2009), München, 2009.
- [10] Andersson, P.; Isaksson, O.: "Manufacturing system to support design and reuse of manufacturing experience", in: Proceedings of the 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Tokyo, Japan, 2008.