

Systemkonzept zur prozeßgerechten Toleranzaufteilung bei Bauteilpaarungen

Holland, M.

Die Mehrzahl der Produkteigenschaften und -merkmale werden durch die Entwicklung und Konstruktion festgelegt. Hierzu ist es notwendig, dem Konstrukteur eine geeignete Arbeitsumgebung zur Verfügung zu stellen, die die Nutzung von Informationen aus den nachgelagerten Bereichen ermöglicht. Am Beispiel der Toleranzfestlegung im Konstruktionsprozeß wird ein Konzept zur prozeßgerechten Toleranzaufteilung vorgestellt. Hierbei erfolgt die Einbindung von Prozeßgenauigkeitsinformationen in einen bereichsübergreifenden Regelkreis.

Nur so können unternehmensspezifische Merkmale der Produktion zur Erhöhung der Produktqualität und damit der Wettbewerbsfähigkeit genutzt werden. Die Fertigungsmöglichkeiten können beachtet werden, wenn dem Konstrukteur geeignete Informationen aus der Fertigung in verdichteter Form zur Verfügung gestellt werden (**Bild 1**).

Verdichtet bedeutet in diesem Zusammenhang die Ableitung entsprechender Kennwerte, die für die Produktgestaltung von Bedeutung sind.

1. Einleitung

Für die Konstruktion steht das Erreichen einer hohen Produktqualität (-gemessen an den Kundenwünschen-) im Vordergrund. Hierzu ist es notwendig, dem Konstrukteur eine geeignete Arbeitsumgebung zur Verfügung zu stellen, die die Nutzung von Informationen aus den nachgelagerten Bereichen in einer für ihn geeigneten Art und Weise ermöglicht.

2. Toleranzfestlegung in der Konstruktion

Die Ableitung entsprechender Kennwerte kann am Beispiel der Toleranzfestlegung in der Konstruktion verdeutlicht werden. Bei der Tolerierung geometrischer Merkmale (z. B. der Durchmesser einer Welle) steht die Funktionserfüllung an erster Stelle (**Bild 1**).

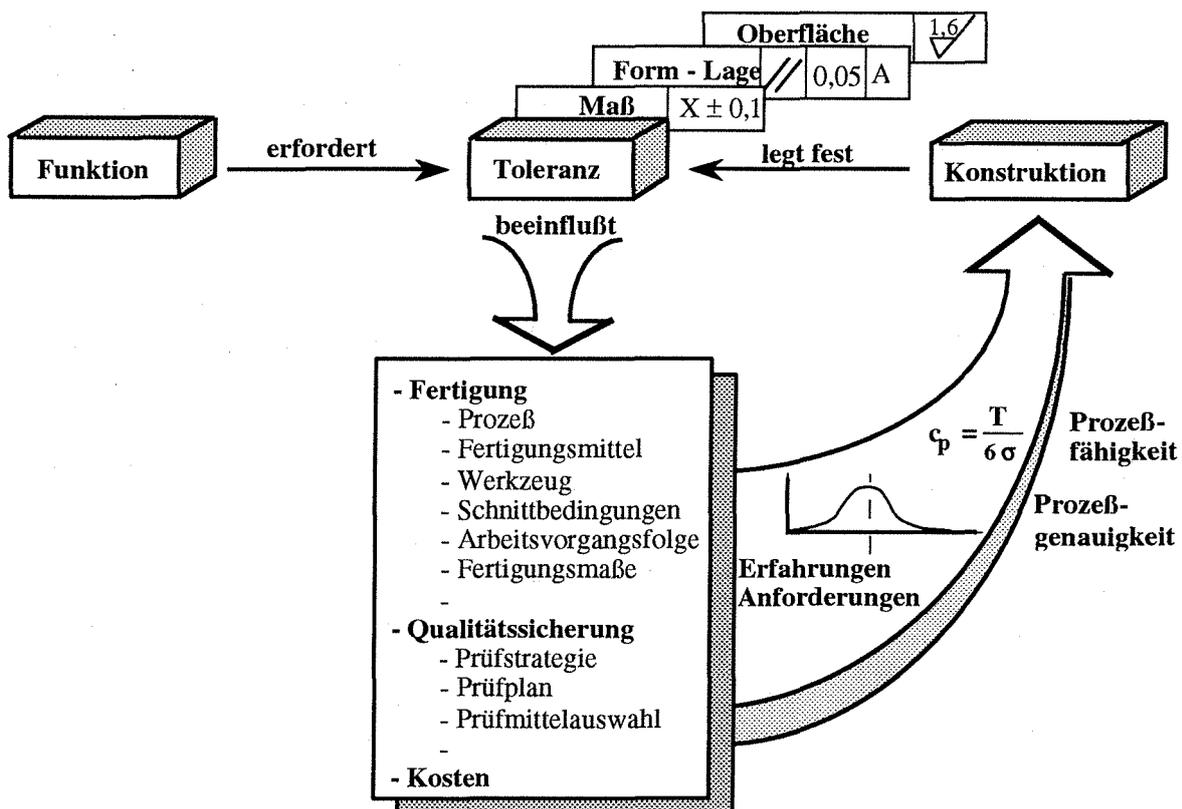


Bild 1 Toleranzfestlegung im Konstruktionsprozeß

Für ein bestimmtes Lösungsprinzip ist das Einhalten einer funktional erforderlichen Toleranz notwendig. Gleichzeitig beeinflusst die geforderte Toleranz die nachgelagerten Bereiche. Zum Beispiel müssen für ihre Einhaltung und Überprüfung spezielle Fertigungs- und Meßprozesse eingesetzt werden. Nicht zuletzt werden auch die Kosten beeinflusst. Um Aussagen über die Fertigungsgerechtigkeit von Toleranzen zu machen, sind für den Konstrukteur Einzelinformationen wie die Prozeßgenauigkeit, d. h. die statistische Verteilung der Fertigungstoleranzen eingesetzter Fertigungsmittel und Fertigungsprozesse, nicht von Bedeutung. Die hieraus abgeleitete Prozeßfähigkeitskennzahl ($C_p = T/6\sigma$) /1,2/ ist dagegen für den Konstrukteur relevant (Bild 1). Der C_p -Wert (Process Capability) definiert die Wahrscheinlichkeit für die Einhaltung einer bestimmten Toleranz T durch die Fertigung. Hierzu wird die Streuung des Fertigungsprozesses als die Breite des 6σ Intervalls der zugehörigen Verteilung ($6\sigma = 99,73\%$ bei Normalverteilungen) beschrieben und mit der zulässigen Toleranz T ins Verhältnis gesetzt (Bild 2).

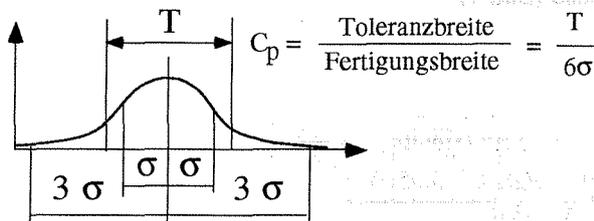


Bild 2 Definition der Prozeßfähigkeitskennzahl

Bei nicht ausreichender Prozeßfähigkeit, muß der Konstrukteur durch Verändern des Lösungsprinzips größere Toleranzen angeben, um die Prozeßfähigkeit und damit Fertigungsgerechtigkeit seiner Konstruktion zu gewährleisten. Durch frühzeitige Beachtung der Fertigungsmöglichkeiten kann die Produktentstehungszeit verkürzt werden, da nicht fertigungsgerechte Toleranzangaben nicht erst in der Arbeitsvorbereitung oder Fertigung erkannt werden. Zeitintensive Änderungsforderungen entfallen!

3. Methode zur prozeßgerechten Toleranzfestlegung

Zur Bereitstellung und Nutzung von Prozeßfähigkeitskennzahlen wird hier eine Methode vorgestellt, die die prozeßgerechte Toleranzfestlegung in der Konstruktion unterstützt.

Grundlage für die Systementwicklung waren die nach der SADT Methode /3/ ermittelten Teilschritte bei der Toleranzfestlegung im Konstruktionsprozeß (Bild 3). Ausgehend von vorgegebenen Einzelteilinformationen wird der funktional erforderliche Toleranzbereich der zu paarenden Teile bestimmt. Hierbei ist die Produktfunktion die wesentliche Randbedingung. Unter Beachtung einer geforderten Prozeßfähigkeit wird dieser Toleranzbereich anschließend auf die zu paarenden Bauteile aufgeteilt.

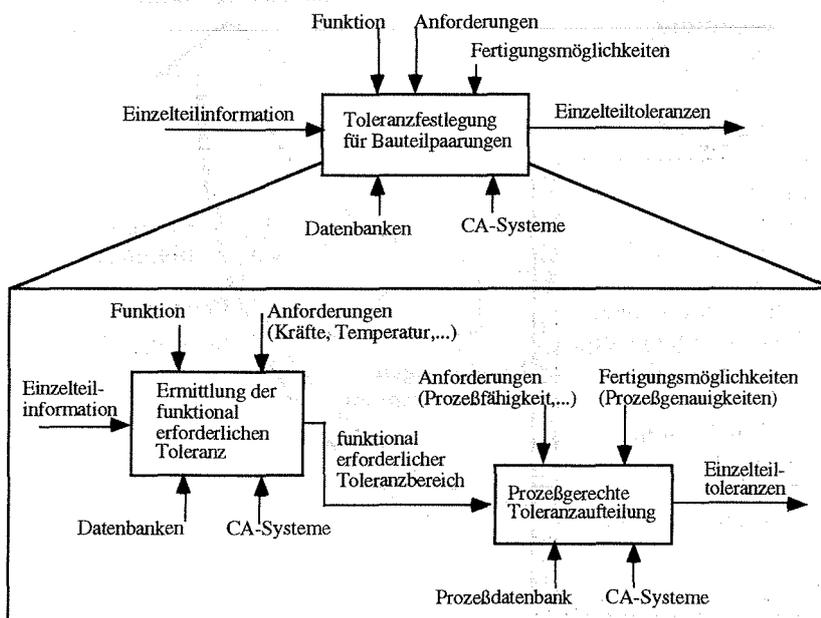


Bild 3 Toleranzfestlegung für Bauteilpaarungen

Zur Verdeutlichung dieser Vorgehensweise ist in Bild 4 die Toleranzaufteilung für eine Welle-Nabe Verbindung dargestellt. Bei der prozeßgerechten Toleranzaufteilung wird die Genauigkeit von Fertigungsprozessen betrachtet. Die Herstellung von Innenpaßflächen ergibt beispielsweise eine größere Standardabweichung und höhere Kosten als die Fertigung der Außenpaßflächen /4/. Damit ist eine ungleichmäßige Aufteilung der Toleranzzone auf die zu paarenden Bauteile, einer gleichmäßigen vorzuziehen.

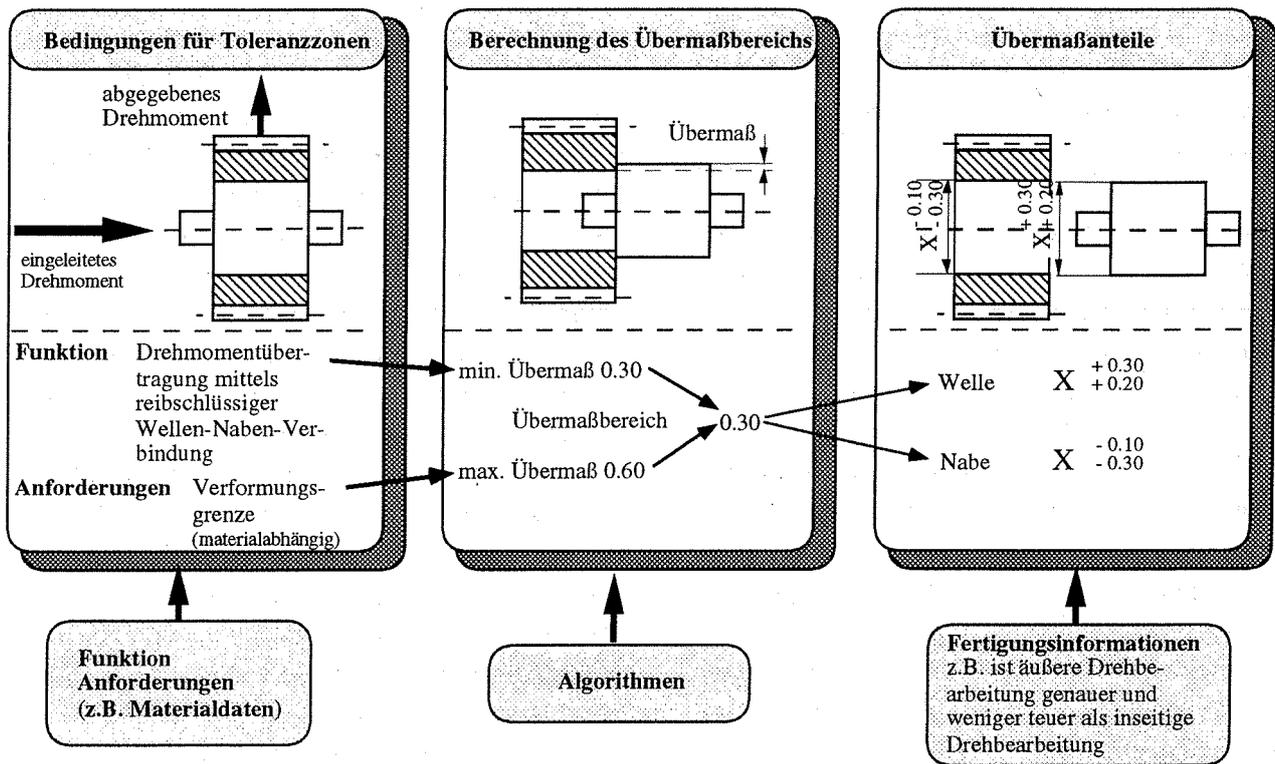


Bild 4 Prozeßgerechte Toleranzaufteilung

Idealerweise werden die Toleranzen so festgelegt, daß die zu paarenden Bauteile mit der gleichen Prozeßfähigkeit gefertigt werden können.

Eine optimale Toleranzaufteilung in der Konstruktion ist daher nur möglich, wenn dem Konstrukteur Informationen über die entsprechenden fertigungstechnischen Möglichkeiten in für ihn verständlicher Form bereitgestellt werden. Ein Ziel dieser Methode ist daher die Definition der hierzu notwendigen informationstechnischen Voraussetzungen, im Sinne des in Bild 5 dargestellten großen Regelkreises.

Mit der Bereitstellung der Prozeßgenauigkeit und der bestimmenden Prozeßparameter im Rahmen dieses Regelkreises können in der Konstruktion folgende Aktivitäten durchgeführt werden:

- Bestimmung der Prozeßfähigkeit von Einzelteiltoleranzen
- Statistische Toleranzkettenrechnung bei Maßketten ohne Prototypenfertigung
- Prozeß- und kostengerechte Aufteilung der Toleranzzone auf zu paarende Bauteile

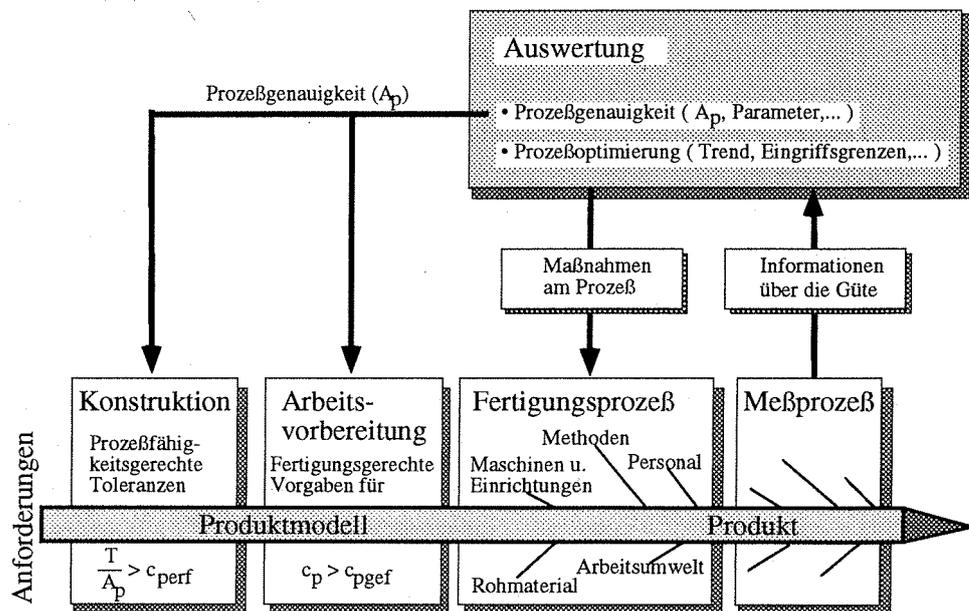


Bild 5 Regelkreis zur prozeßgerechte Toleranzaufteilung

Daneben können die in diesem Regelkreis verwendeten Informationen von der Arbeitsvorbereitung für die Auswahl geeigneter Fertigungsprozesse genutzt werden.

Die Anwendung dieser Methode ist eng mit der statistischen Toleranzrechnung verbunden, die bisher bei der Serienfertigung eingesetzt wird /5/. Sie ermöglicht aber die Anwendung der statistische Tolerierung auch bei Kleinserien. Hierzu wird, im Gegensatz zur klassischen Prozeßfähigkeitsanalyse, die von einer Toleranzbetrachtung an einem Produkt ausgeht, von einer allgemeinen Prozeßfähigkeitsbewertung an Klassen von fertigungstechnischen Elementen ausgegangen. Mit dieser Betrachtungsweise wird es möglich, mit der entwickelten Prozeßdatenbank verschiedene Methoden der Qualitätssicherung und Toleranzfestlegung zu unterstützen.

4. Prozeßgerechte Toleranzfestlegung: Systemanforderungen

Für die prozeßgerechte Toleranzfestlegung in der Konstruktion wird im folgenden ein Systemkonzept vorgestellt. Die Anforderungen an das Konzept sind in (Tabelle 1) aufgeführt.

Bestimmung der funktional erforderlichen Toleranzen
Bestimmung der Prozeßfähigkeit für Toleranzvorgaben an Einzeltoleranzen
Prozeßgerechte Aufteilung von funktional erforderlichen Toleranzen für Baugruppen
Beurteilung der Prozeßfähigkeit durch Vergleich mit funktionaler Festlegung
Bereitstellung der festgelegten Informationen für die nachgelagerten Bereiche

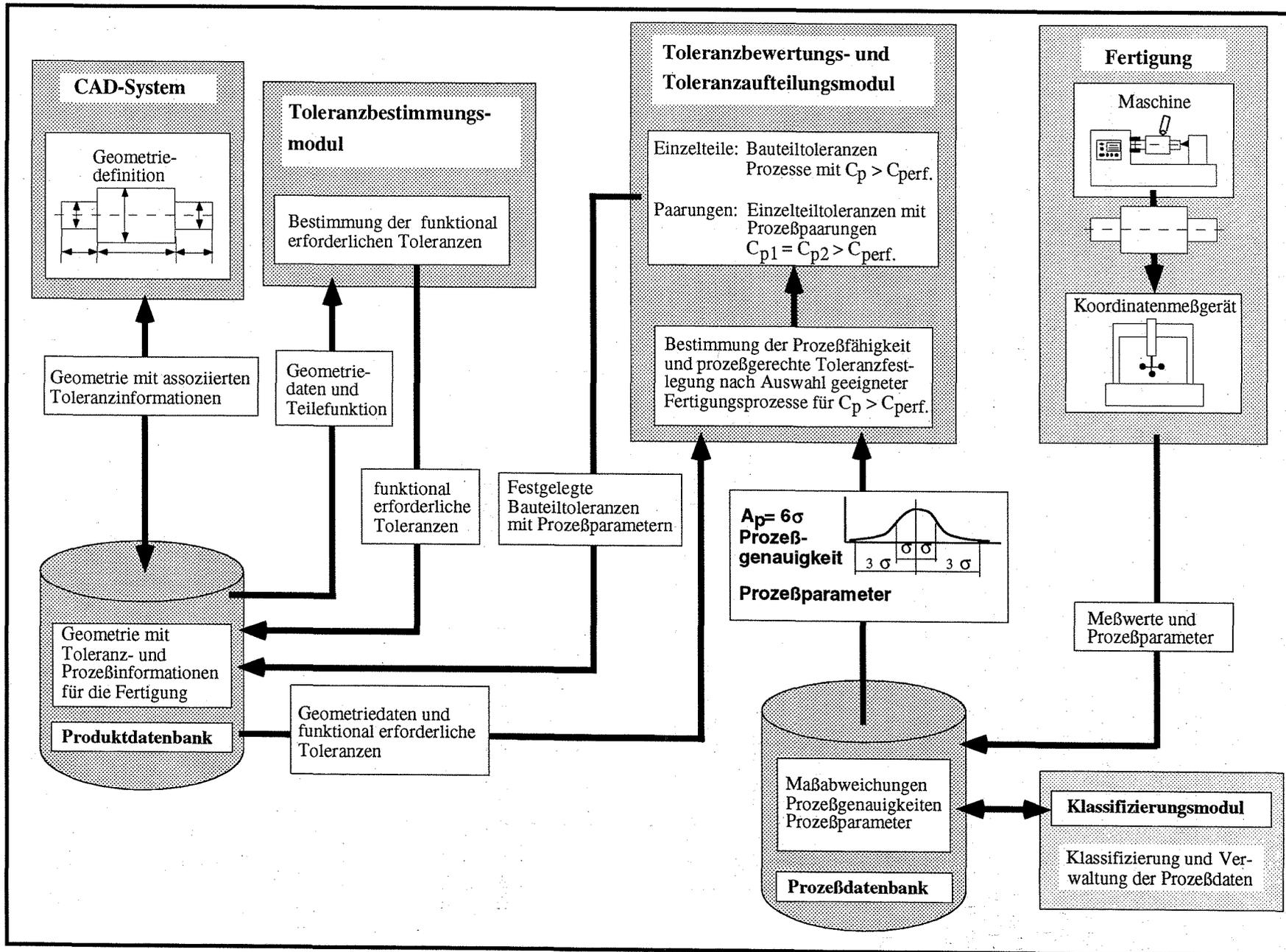
Tabelle 1 Systemanforderungen

Für die CA-technische Realisierung muß eine ausreichende Formalisierbarkeit dieser Vorgehensweise und der notwendigen Methoden möglich sein, um ein entsprechendes CA-System zu erstellen. Diese Forderung ist bei einigen der in Tabelle 1 formulierten Anforderungen gegeben. Für die Bestimmung der funktional erforderlichen Toleranzen ist eine hohe Automatisierbarkeit nur in Einzelfällen möglich. Dagegen kann die prozeßge-

rechte Aufteilung dieser Toleranzen für Baugruppen durch entsprechende Algorithmen unterstützt werden. Insbesondere für die Erfüllung der Forderungen 1-3 (Tabelle 1) muß eine Vielzahl von Informationen in geeigneter Form bereitgestellt werden. Die hierzu notwendigen Qualitätshistoriedaten kann man in Daten 1. und 2. Ordnung unterteilen /6/. Direkt erfaßte Daten und Prüfergebnisse werden als Daten 1. Ordnung bezeichnet. Sie erlauben eine Beschreibung des Merkmalzustandes zu einem bestimmten Zeitpunkt und dienen damit als Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung des geprüften Produktes. Prozeßgenauigkeits- und Prozeßfähigkeitskennzahlen sind dagegen Qualitätshistoriedaten 2. Ordnung da sie durch Verdichtung, Analyse und Auswertung aus Qualitätshistoriedaten 1. Ordnung abgeleitet und verschiedenen Unternehmensbereichen wie der Konstruktion oder Arbeitsplanung bereitgestellt werden.

Aus den obigen Anforderungen ergibt sich das in Bild 6 dargestellte Systemkonzept zur funktions- und prozeßgerechten Toleranzfestlegung. Ausgehend von der Fertigung werden die Qualitätshistoriedaten 1. Ordnung (gemessene Maßabweichungen sowie die entsprechenden Prozeßparameter) in der Prozeßdatenbank abgelegt. Diese Daten stehen dann für die Ermittlung der Qualitätshistoriedaten 2. Ordnung zur Verfügung. Zu den Qualitätshistoriedaten 2. Ordnung gehören die Prozeßgenauigkeit sowie die ermittelten Prozeßfähigkeitskennzahlen.

Die Informationen über die Teilegeometrie werden aus einer Produktdatenbank, die mit einem CAD-System gekoppelt ist, übernommen. Zusammen mit den funktional erforderlichen Toleranzen bilden Sie die Eingangsgrößen für die prozeßgerechte Toleranzfestlegung. Nach ihrer Festlegung werden die Bauteiltoleranzen zusammen mit den relevanten Prozeßparametern an die Produktdatenbank übergeben.



Die für die Realisierung des Systems notwendigen Systemelemente sind in **Tabelle 2** aufgezeigt.

Prozeßdatenbank	Speicherung der prozeßrelevanten Daten
Produktdatenbank	Speicherung produktdefinierender Daten
CAD-System	Definition der Konstruktionsergebnisse
Toleranzbestimmungsmodul	Bestimmung der funktional erforderlichen Toleranzen
Toleranzbewertungs- und Aufteilungsmodul	Bestimmung der Prozeßfähigkeit und prozeßfähigkeitsgerechte Toleranzfestlegung
Klassifizierungsmodul	Klassifizierung und Verwaltung der in der Prozeßdatenbank abgelegten Informationen

Tabelle 2 Wesentliche Systemelemente

Eine wesentliche Entwicklung für die Realisierung dieses Systemkonzeptes war die Definition eines Prozeßmodells, sowie die Entwicklung des Toleranzbewertungs- und Aufteilungsmoduls.

Die Abbildung der Prozeßgenauigkeitsinformationen ermöglicht das Prozeßmodell, das den Inhalt und die logische Struktur der Prozeßdatenbank definiert. Der prinzipielle Aufbau des Prozeßmodells ist in **Bild 7** dargestellt. Als formale Beschreibungssprache wurde EXPRESS /7/ benutzt. EXPRESS wird auch bei der Definition von STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) /8/ benutzt. Hierdurch wird eine Integration des Prozeßmodells in diesen Standard wesentlich vereinfacht. Zudem weist EXPRESS objektorientierte Eigenschaften auf, die für der Definition des Prozeßmodells notwendig waren.

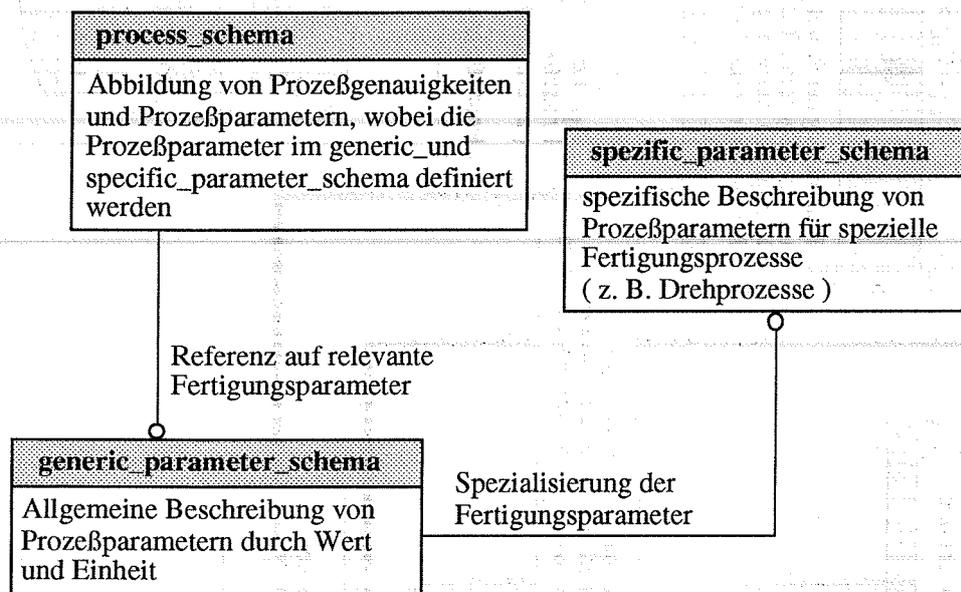


Bild 7 Gliederung des Prozeßmodells

Die Prozeßgenauigkeit wird als der 6σ Bereich der statistischen Verteilung der Maßabweichungen einer Anzahl von gefertigten Bauteilen bestimmt (**Bild 8**). Im Prozeßmodell wird diese Information zusammen mit den für den Fertigungsprozeß relevanten Parametern definiert.

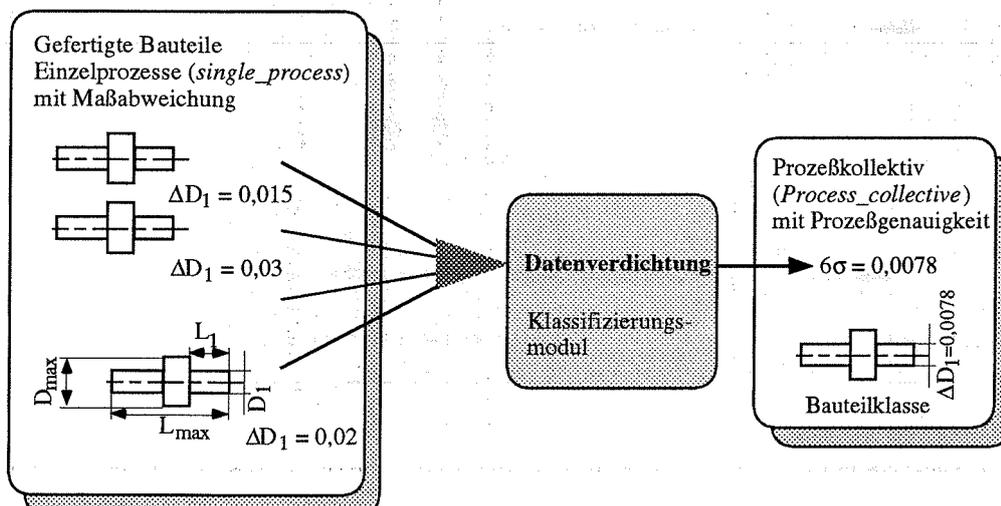


Bild 8 Abbildung der Prozeßgenauigkeit

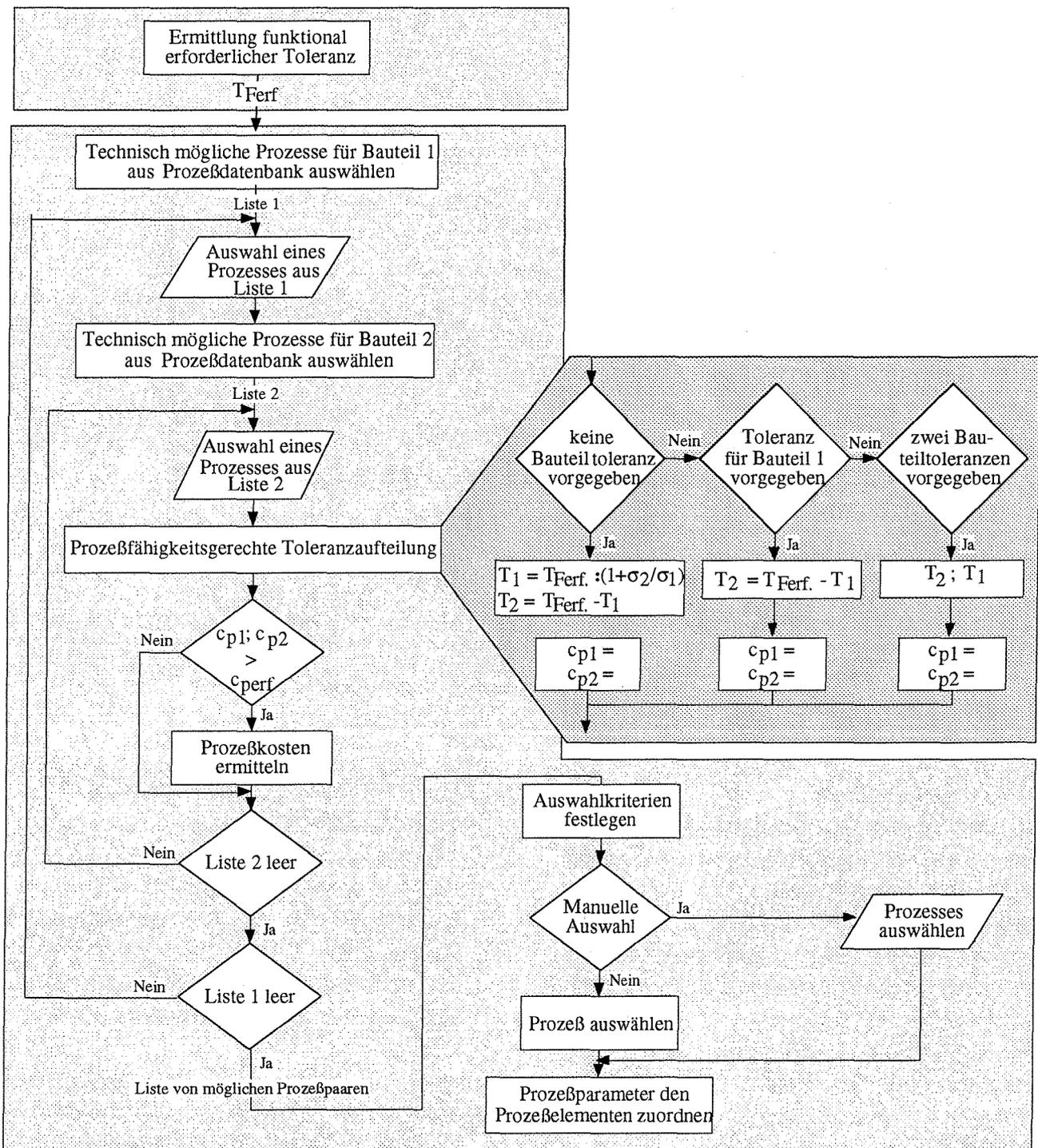


Bild 9 Ablauf der Toleranzfestlegung

Die im Prozeßmodell bereitgestellten Informationen stehen für die prozeßgerechte Toleranzfestlegung zur Verfügung. Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Toleranzfestlegung ist in **Bild 9** dargestellt. Neben den rein prozeßorientierten Randbedingungen können auch Prozeßkosten als weitere Auswahlkriterien berücksichtigt werden.

Für die anderen Systemelemente liegen derzeit Entwürfe vor, bzw. kann auf bereits bestehende Entwicklungen zurückgegriffen werden. Auf ihre genaue Beschreibung wird daher an dieser Stelle verzichtet. Für die Produktdatenbank kann beispielsweise der Produktmodellansatz von STEP verwendet werden. Da die Abbildung von funktional erforderlichen Toleranzen bisher nicht in STEP realisiert ist, wurde im Rahmen der hier beschriebenen Systementwicklung ein Modell zur Abbildung dieser Informationen entwickelt /9/.

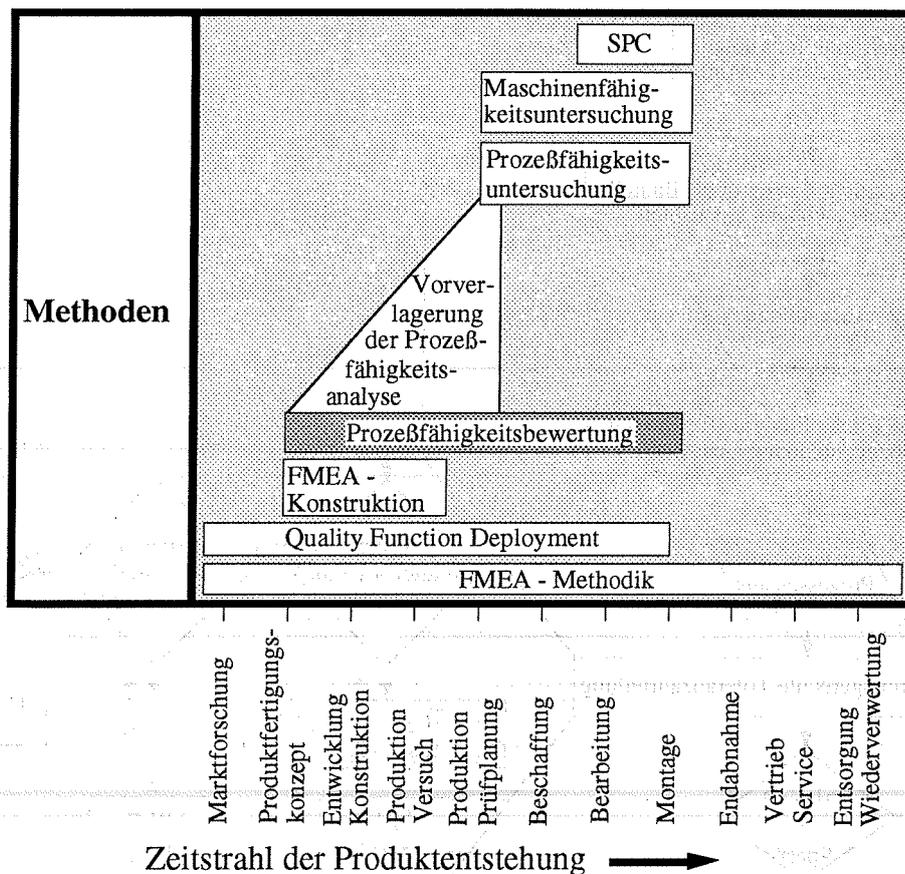


Bild 10 Vorverlagerung der Prozeßfähigkeitsanalyse

5. Zusammenfassung

Die hier vorgestellte Methode zur prozeßgerechten Toleranzfestlegung entspricht einer Vorverlagerung der Prozeßfähigkeitsanalyse in die Konstruktion (Bild 10) im Sinne von Simultaneous Engineering Konzerten. Sie stellt damit einen Beitrag zur Rückverlagerung von fertigungsvorbereitenden Arbeiten dar, indem sie die Informationen zur Prozeßfähigkeit und damit Fertigungsgerechtigkeit unternehmensweit zur Verfügung stellt.

Literatur

- /1/ Kirstein, H.: SPC-Anwendungen: Voraussetzungen und Wirkungen, Werkstatttechnik 1989
- /2/ Ford: Statistische Prozeßregelung, Leitfaden, Ford AG 1985
- /3/ Marca, D.A.; Mc Gowan, C. L.: SADT - Structured Analysis and Design Technique, Mac Graw-Hill Book Company, New York 1986
- /4/ Kirschling, G.: Statistische Tolerierung, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1988
- /5/ Klein, B.: Prozeßgerechte Konstruktion von Bauteilen durch statistische Tolerierung, Konstruktion 1993, s. 176-184
- /6/ Kwon, M-S.: Konzeption einer Methodik zum qualitätsgerechten Konstruieren, Dissertation, Aachen 1990
- /7/ ISO TC 184/SC4: Product Data Representation and Exchange - Part 11: EXPRESS, ISO/IEC Schweiz 1993
- /8/ ISO TC 184/SC4: Product Data Representation and Exchange - Part 1: Overview and Fundamental Principles, ISO/IEC Schweiz 1993
- /9/ Heinen, F.; Holland, M.; Kalwa, R.: PICASSO - Eine wissensbasierte Konstruktionsumgebung, Institutsmitteilung Nr. 18, IMW Clausthal 1993,