

Universität Dortmund

Fakultät Maschinenbau

Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren

Prof. Dr.-Ing. E. v. Finckenstein

Konstruktive Studienarbeit

Entwicklung eines Qualitätsdatenerfassungssystems in der Blechumformung am Beispiel des Schwenk- und Gesenkbiegens

vorgelegt von

Andreas Theilmeier

Betreuer: Dipl.-Ing. Norbert Austerhoff

Dortmund, April 1996

Inhaltsverzeichnis

1	<u>Einleitung</u>	4
1.1	Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit	4
1.2	Konzept eines Qualitätswinformationssystems	5
2	<u>Einführung in die Blechumformung</u>	7
2.1	Begriffsbestimmung	7
2.1.1	Biegeumformen nach DIN 8586	7
2.1.2	Begriffe am Biegeteil	7
2.1.3	Elementare Biegetheorie	8
2.1.4	Elastische Rückfederung beim Biegen	10
2.2	Die wichtigsten Biegeverfahren	11
2.2.1	Freies Biegen	11
2.2.2	Gesenkbiegen	14
2.2.3	Schwenkbiegen	15
2.2.4	Walzrunden und Walzprofilieren	16
2.3	Einführung in die Verfahren Schwenk- und Gesenkbiegen	17
2.3.1	Schwenkbiegen	17
2.3.1.1	Schwenkbiegemaschinen	19
2.3.1.2	Werkzeuge und Sonderwerkzeuge	20
2.3.1.3	Auslegung von Schwenkbiegemaschinen	21
2.3.1.4	Verfahrensvarianten des Schwenkbiegens	22
2.3.1.5	Flexibles Schwenkbiegen	23
2.3.2	Gesenkbiegen	25
2.3.2.1	U-Biegen	26
2.3.2.2	Freies Gesenkbiegen	26
3.	<u>Qualitätsmanagement und Qualitätsdatenerfassung</u>	27
3.1	Einleitung	27
3.1.1	Der Begriff Qualität	27
3.1.2	Der Qualitätskreis	29

3.1.3	Qualitätssicherung als Regelkreis	30
3.2	Beschreibung ausgewählter Qualitätssicherungsverfahren	32
3.3	Quality Function Deployment (QFD)	33
3.4	Fehler-Möglichkeiten und Einfluß-Analyse (FMEA)	33
3.4.1	Grundlagen der FMEA	33
3.4.2	Einbindung der FMEA in ein CIM-Konzept	37
3.4.3	FMEA und Qualitätsdatenerfassung	38
3.5	Statistische Prozeßregelung (SPC)	38
3.5.1	Grundlagen der SPC	38
3.5.2	Qualitätsregelkarten	39
3.5.3	Einbindung der SPC in ein CIM-Konzept	41
3.5.4	SPC und Qualitätsdatenerfassung	43
3.6	Statistische Versuchsplanung (DOE)	43
3.6.1	Grundlagen des DOE	43
3.6.2	Vorgehensweise und Methoden der statistischen Versuchsplanung	44
3.6.3	Die Ein-Faktor-Methode	45
3.6.4	Vollfaktorielle Versuchspläne	46
3.6.5	Versuchsmethodik nach Shainin	46
3.6.6	Versuchsmethodik nach Taguchi	48
3.6.7	DOE und Qualitätsdatenerfassung	53
4.	<u>Entwicklung eines Qualitätsdatenerfassungssystems</u>	55
4.1	Einleitung	55
4.2	Eigenschaften eines Qualitätsdatenerfassungssystems	56
4.2.1	Einbindung des Qualitätssysteminformationssystems	56
4.2.2	Einbindung von Qualitätssicherungsverfahren	56
4.2.3	Anforderungen an Qualitätsregelkreise zur Rückführung von Informationen	56
4.2.3.1	Stand der Technik	57
4.2.3.2	Aufgaben der direkten Informationsrückführung	57
4.3	Entwicklung einer Anforderungsliste	58
4.3.1	Rahmenbedingungen für den Aufbau	58

4.3.2	Ergonomische Anforderungen	59
4.3.3	Allgemeine Anforderungen	
4.3.4	Spezielle Anforderungen	
4.4.1	Flußdiagramm zur Beschreibung der Kommunikation zwischen Benutzer und Qualitätsdatenerfassungssystem	62
4.4.2	Erläuterung der Programmpunkte	62
4.5	System und Systemgrenzen des Qualitätsdatenerfassungssystems	67
4.5.1	Abgrenzung des Systems	67
4.5.2	Beschreibung des Systems	67
4.5.2.1	Systemunterpunkt Halbzeug	68
4.5.2.2	Systemunterpunkt Fertigungsprozeß	69
4.5.2.3	Systemunterpunkt Fertigteilprüfung	70
4.6	Qualitätsfehlerbehandlung an Biegeteilen	72
4.6.1	Qualitätsfehler an Biegeteilen	72
4.6.2	Fehlerursachen in der Biegeteulfertigung	73
4.7	Menüsystem für das Qualitätsdatenerfassungssystem	76
4.7.1	Allgemeiner Aufbau des Menüsystems	77
4.7.2	Das Hauptmenü	78
4.7.3	Darstellung der Fertigungsunterlagen und des Fertigungsablaufs	78
4.7.4	Das Menü "Fehlererkennung"	79
4.7.5	Das Menü "Fehleranalyse"	80
4.7.6	Das Menü "Fehlerabhilfe"	81
4.7.7	Das Menü "Fertigung"	82
4.7.8	Das Menü "Prüfen"	82
4.7.9	Auftrag abgeschlossen	83
5.	<u>Zusammenfassung und Ausblick</u>	84
6.	<u>Literaturverzeichnis</u>	86

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept für ein Qualitätsdatenerfassungssystem zu entwickeln, das es ermöglicht, qualitätsrelevante Daten am Arbeitsplatz Schwenk- oder Gesenkbiegen, optimal zu erfassen und an eine zentrale Datenbank weiterzugeben. Dabei wird insbesondere Wert auf die möglichst umfangreiche Nutzung des Fach- und Erfahrungswissens des Maschinenbedieners gelegt, um meßtechnisch nicht erfassbare Größen zu erhalten.

Durch ein zeitgemäßes Menüsystem erhält dieser Zugriff auf für ihn wichtige Informationen aus der Datenbank und die Möglichkeit zur Kommunikation mit anderen Abteilungen, um so Verbesserungsvorschläge machen zu können oder auftretende Probleme zu diskutieren.

Erfaßt werden ebenfalls automatisch bestimmte Meßgrößen, die beispielsweise die Maschinensteuerung liefert.

Das System soll in der Lage sein, Fehler und Fehlerabhilfemöglichkeiten, die bei den Verfahren des freien Schwenk- und Gesenkbiegens auftreten, zu erfassen, und an das Qualitätsinformationssystem weiterzugeben. Hierzu müssen von diesem sowohl konkrete, "faßbare" Daten (z.B. aus der automatischen Meßwerterfassung) als auch "unscharfe" Angaben des Bedieners so verarbeitet werden, daß eine Einbindung in die CAD/CAPP/CAM-Umgebung möglich ist.

Qualitätsmanagement hat im Laufe der letzten Jahre Einzug in viele Fertigungsbereiche gefunden. Qualitätsmanagementstrategien wurden auch außerhalb der Produktionstechnik erfolgreich abstrahiert und tragen zum Beispiel in Dienstleistungsbetrieben oder der Medizin zu einer laufenden Verbesserung der Abläufe bei /71/.

Eine Zertifizierung nach DIN 9000 ff. ist zu einem erfolgreichen und weiter an Bedeutung zunehmenden Verkaufsargument geworden. Viele Kunden schreiben diese ihrem Zulieferer schon zwingend vor.

Qualitätsmanagement führt zu einer Verringerung der Produktionskosten, zu einer Erhöhung der Flexibilität und zu verbesserten und gleichmäßigeren Produkttoleranzen, was vor allem durch zunehmende Produktionsautomatisierung immer häufiger gefordert wird.

Im Bereich der Fertigungstechnologie sind es vor allem die spanenden Produktionstechniken, die Qualitätsmanagement erfolgreich anwenden, da eine hohe Anzahl von Eingriffsmöglichkeiten und Einstellgrößen im Prozeß vorhanden sind.

Im Bereich der Umformtechnik, insbesondere beim Schwenk- und Gesenkbiegen, wird Qualitätsmanagement zur Zeit nur sporadisch, unter Einsatz einzelner Qualitätssicherungsstrategien, durchgeführt. Der durch die geringe Anzahl von Einstellparametern und Einflußgrößen überschaubare Fertigungsablauf, fehlende Meß- und Überwachungstechniken sowie mangelhafter Informations- und Datenfluß erschweren die Einführung des Qualitätsmanagements in diesen Produktionsbereich /66/67/.

1.2 Konzept eines Qualitätsinformationssystems

Der Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren (LUF) der Universität Dortmund entwickelt ein Qualitätsinformationssystem zur integrierten Qualitätssicherung am Beispiel der Produktgruppe Schwenk- und Gesenkbiegen.

Zur Erstellung einer zentralen Datenbank, eines Expertensystems auf Basis der Fuzzy-Entscheidungstheorie und einer Prozeßsimulation, sind eine Vielzahl von Informationen aus verschiedenen Bereichen der Produktentstehungsphasen erforderlich. Diese Informationen bestehen aus Faktenwissen, prozeduralem Wissen und Erfahrungswissen.

Der komplexe Umformprozeß läßt sich nur unter bestimmten, vereinfachenden Annahmen analytisch beschreiben. Deshalb besitzt das Erfahrungswissen eine herausragende Bedeutung, denn es lassen sich in vielen Fällen nur quantitative, "unscharfe" Aussagen über den Fertigungsprozeß machen, die die Aufbereitung über ein Expertensystem zur Repräsentation in der Konstruktionsebene erfordern.

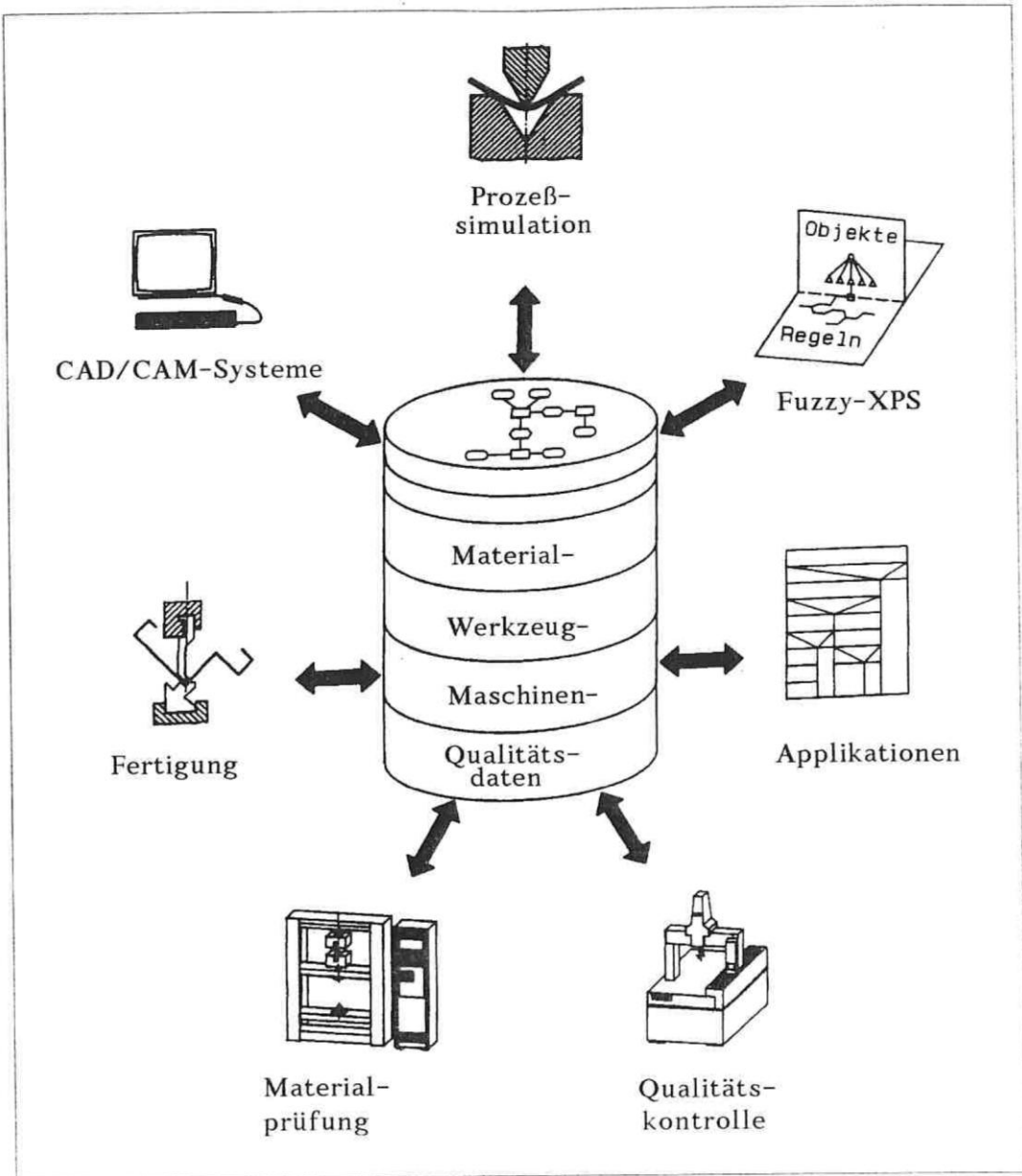


Bild 1.2 Konzept eines Qualitätsinformationssystems

2. Einführung in die Feinblechumformung

2.1 Begriffsbestimmung

2.1.1 Biegeumformen nach DIN 8586

Nach DIN 8586 ist Biegeumformen das Umformen eines festen Körpers, wobei der plastische Zustand im wesentlichen durch eine Biegebeanspruchung herbeigeführt wird.

Bei der Umformung von Blechen gehört das Biegen zu den am häufigsten angewandten Verfahren. Es wird in der Massenfertigung kleinster Werkstücke genauso wie in der Einzelteilmfertigung beim Apparate- oder Schiffsbau genutzt.

In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Kaltumformen. Bei sehr großen oder sehr kleinen Querschnitten wird auch warm gebogen, um die nötigen Kräfte in Grenzen zu halten bzw. eine Kaltversprödung zu vermeiden.

2.1.2 Begriffe am Biegeteil

Die am Biegeteil auftretenden Begriffe gehen aus Bild 2.1.2 hervor:

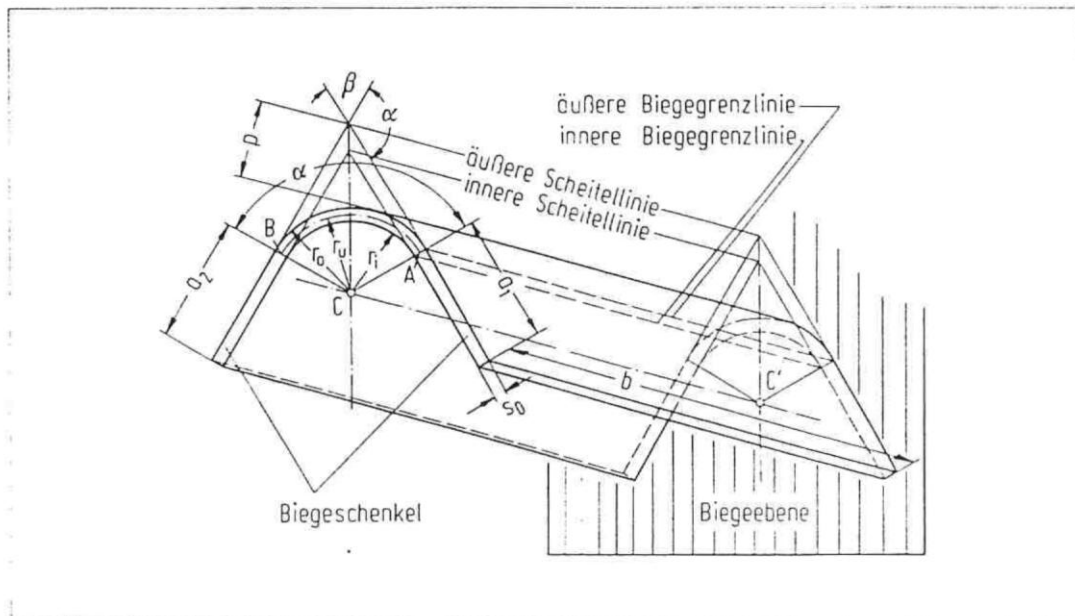


Bild 2.1.2 Begriffe am Biegeteil nach Kienzle /27/

2.1.3 Elementare Biegetheorie

Am Anfang des 20. Jahrhunderts untersuchte P. Ludwig als erster eingehend den Biegevorgang in der Theorie.

Die folgenden, von ihm getroffenen Annahmen, wurden später auch von anderen Autoren übernommen /26/.

- Das an jeder Stelle gleich dicke Blech wird durch ein reines Moment gebogen (querkraftfreies Biegen); die Biegelinie ist somit ein Kreisbogen.
- Das Blech ist sehr breit im Verhältnis zu seiner Dicke (theoretisch unendlich breit), so daß Randverformungen nicht auftreten und ein ebener Formänderungszustand herrscht.
- Der Blechwerkstoff ist homogen und isotrop; Eigenspannungen sind vor dem Biegen nicht vorhanden.
- Ebene Querschnitte bleiben eben, senkrecht zur Blechoberfläche und parallel zur Biegeachse.
- Das Blech besteht aus vielen dünnen Schichten, die voneinander unabhängig sind. Die in Wirklichkeit vorhandenen und für die Entwicklung einer Krümmung notwendigen Druckspannungen senkrecht zur Blechoberfläche werden vernachlässigt. Spannungen parallel zur Biegeachse werden ebenfalls nicht berücksichtigt.
- Die Spannungs-Dehnungs-Linien des Werkstoffs im Zugbereich und Druckbereich sind symmetrisch zum Nullpunkt.
- Die Blechdicke bleibt während des Biegens konstant. Das ergibt sich aus der Volumenkonstanz.

Mit diesen stark vereinfachten Voraussetzungen ist es leicht möglich, die in der Biegeebene auftretenden Formänderungen und Spannungen sowie Biegemoment und Biegearbeit zu berechnen. Dabei wird ein Werkstoff zugrunde gelegt, der sich bei einachsiger Beanspruchung wie in folgendem Bild dargestellt verhält. Hier zeigt sich ein linearer Spannungsanstieg (Hooksche Gerade) bis zur Fließgrenze (σ_F , ϵ_F), dann Fließen unter wachsender Spannung (plastischer Bereich mit Verfestigung).

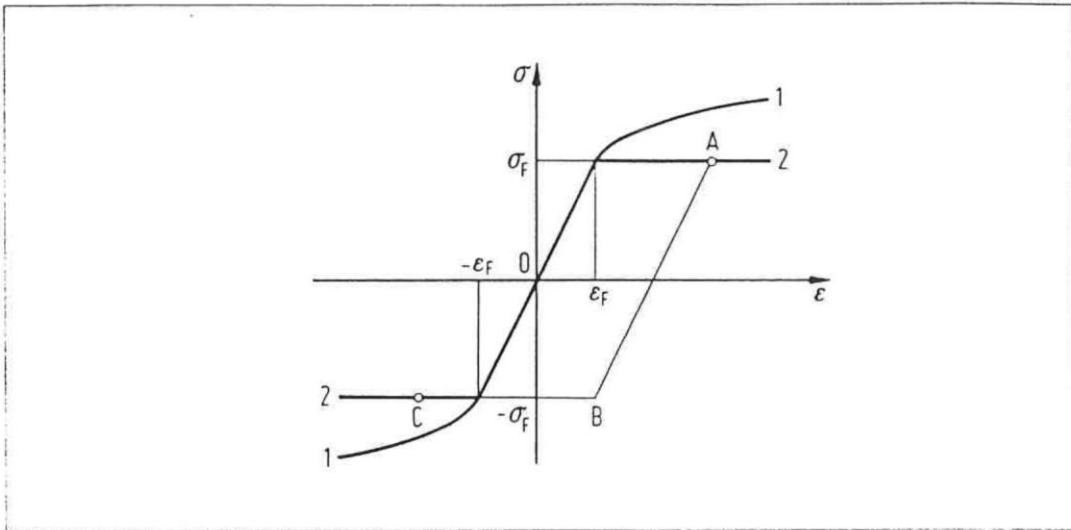


Bild 2.1.3 Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit symmetrischen Linien /26/

2.1.4 Elastische Rückfederung bei Biegeprozessen

Eine für das Biegen typische Erscheinung ist die elastische Rückfederung. Nach Entlastung ist der Biegewinkel kleiner und der Biegeradius größer als unter Last. Die Rückfederung beim Entlasten ergibt sich beim querkraftfreien Biegen aus dem Rückfederungsverhältnis K zu:

$$K = \alpha_R / \alpha = \frac{r_i + \frac{s_o}{2}}{r_{ik} + \frac{s_o}{2}}$$

Dabei ist die Rückfederung abhängig vom Werkstoff (E-Modul, Streckgrenze, n -Wert), Spannungszustand, bei dem umgeformt wird, und von der Vorverformung des zu biegenden Teils. Gelingt es, über den gesamten Querschnitt des zu biegenden Werkstückes eine plastische Formänderung zu bewirken, ergeben sich geringe, herrschen im Bereich der neutralen Faser elastische Formänderungen, führt dies zu großen Rückfederungen.

Um die Rückfederung zu verringern, zu vermeiden oder zu kompensieren, können folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Nachdrücken im Gesenk
- Überbiegen
- Einschränken der Toleranzen für Blechwerkstoffkennwerte $R_{p0,2}$, n -Wert und Blechdicke als Voraussetzung für reproduzierbare Verhältnisse.
- Anschließende Umformung unter Zugbeanspruchung zur Erzielung der Endgeometrie, d.h. Weiterformung unter so großen Zugspannungen, daß der gesamte Querschnitt plastisch umgeformt wird.
- Überlagerung von Zugspannungen beim Biegen.

Zur Ermittlung des Zuschnitts von Biegeteilen ist man bisher auf empirische Formeln angewiesen, da eine exakte Bestimmung der Biegeteilgeometrie bisher nicht möglich ist.

Wird ein vom Werkstoff abhängiger minimaler Biegeradius $r_{i\min}$ unterschritten, so treten an der Außenfaser Risse auf. Angaben über kleinstmögliche Biegeradien für Stahlbleche werden in DIN 6935 in Abhängigkeit von Werkstoff, Blechdicke und Lage der Biegeachse zur Walzrichtung des Bleches gemacht.

2.2 Die wichtigsten Blechbiegeverfahren

2.2.1 Freies Biegen

Freies Biegen wird in DIN 8586 wie folgt definiert:

"Beim freien Biegen dienen die Werkzeuge nur zum Übertragen der Kräfte bzw. der Momente auf das Werkstück; dessen Form hängt in erster Linie nicht von der Geometrie der einzelnen Werkzeugteile, sondern von deren relativer Lage zueinander sowie der Fließkurve und der Blechdicke ab: Die Werkstückform bildet sich frei aus."

Bei dem freien Biegen unterscheidet K. Lange vier Verfahren /26/:

- Freies Biegen eines an zwei Seiten aufliegenden Bleches mit einem zwischen den Auflagern angreifenden Stempel,

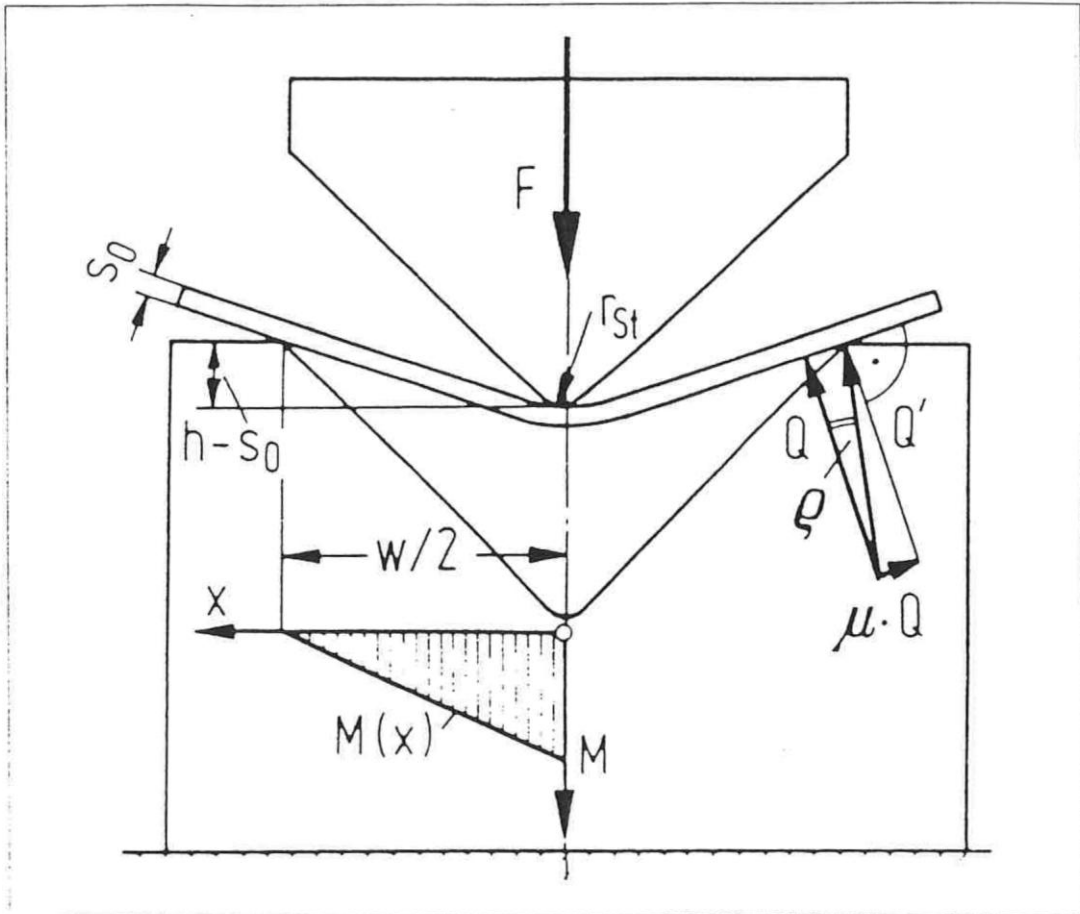


Bild 2.2.1.1 Freies Biegen eines an zwei Seiten aufliegenden Bleches

- Freies Biegen eines einseitig eingespannten Bleches mit einem am freien Ende angreifenden Stempel.

Bei beiden Verfahren ist darauf zu achten, daß Freies Biegen nur solange gegeben ist, wie der kleinste innere Biegeradius größer ist als der Stempelradius bzw. der Spannbackenradius.

Führt der Stempel beim freien Biegen eines einseitig eingespannten Bleches eine schwenkende Bewegung aus, so spricht man von freiem Schwenkbiegen.

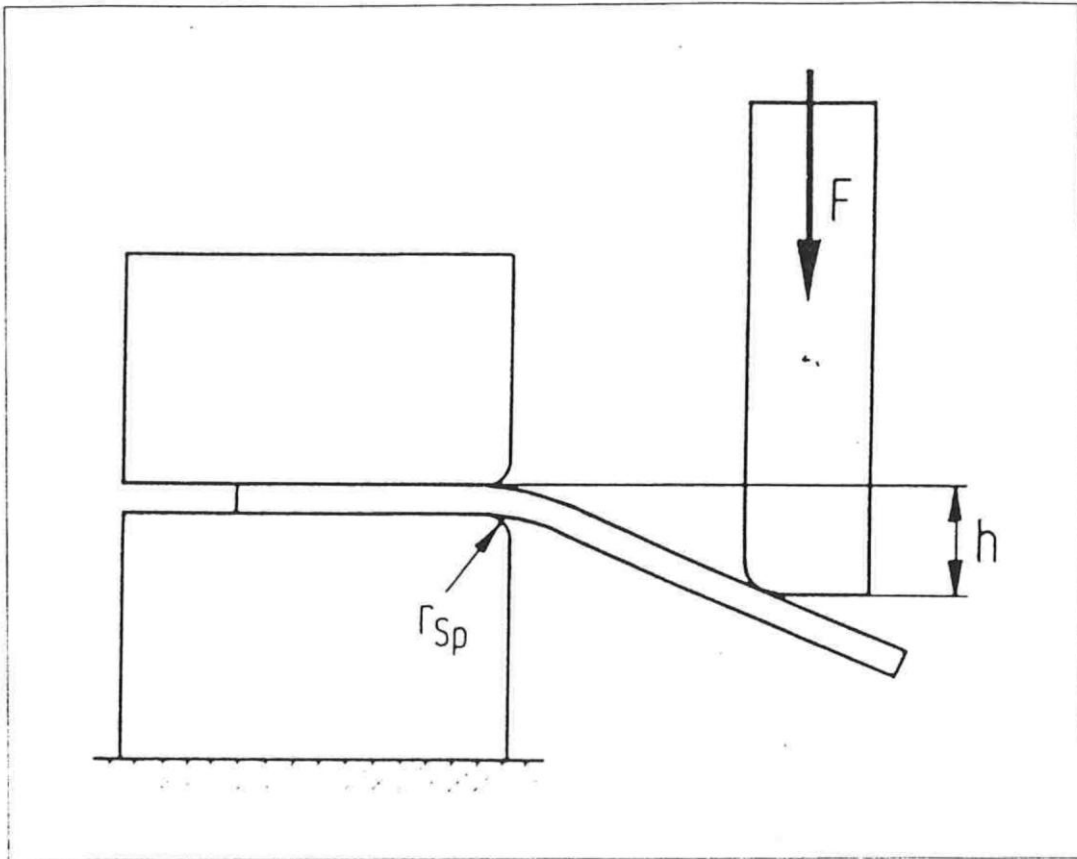


Bild 2.2.1.2 Freies Biegen eines einseitig eingespannten Bleches

Als drittes Verfahren nennt K. Lange das querkraftfreie Biegen, aus dem die Elementare Biegetheorie hergeleitet wurde. (s. Kap 2.1.3)

In der Fertigung hat es jedoch keine Bedeutung, so daß hier auf eine weitere Beschreibung verzichtet werden kann.

Zu den Verfahren des freien Biegens gehört auch das Biegerichten. Dies hat, im Gegensatz zu den bis jetzt besprochenen Verfahren, die Aufgabe, in Werkstücken vorhandene, unerwünschte Krümmungen zu beseitigen.

Dabei muß ein gekrümmtes Blech einem Biegevorgang derart unterworfen werden, daß es nach der Entlastung genau soweit zurückfedert, daß es gerade ist.

Beispielsweise werden Biegeteile häufig durch freies Biegen gerichtet, die sich nach Wärmebehandlungen und spanender Bearbeitung verzogen haben. Dies geschieht auf hydraulischen, hubgesteuerten Pressen, die teilweise von Hand, teilweise vollautomatisch mit Hilfe einer elektroni-

schen Steuerung den Richtvorgang ausführen. Eine dazu verwendete Richtpresse zeigt das folgende Bild:

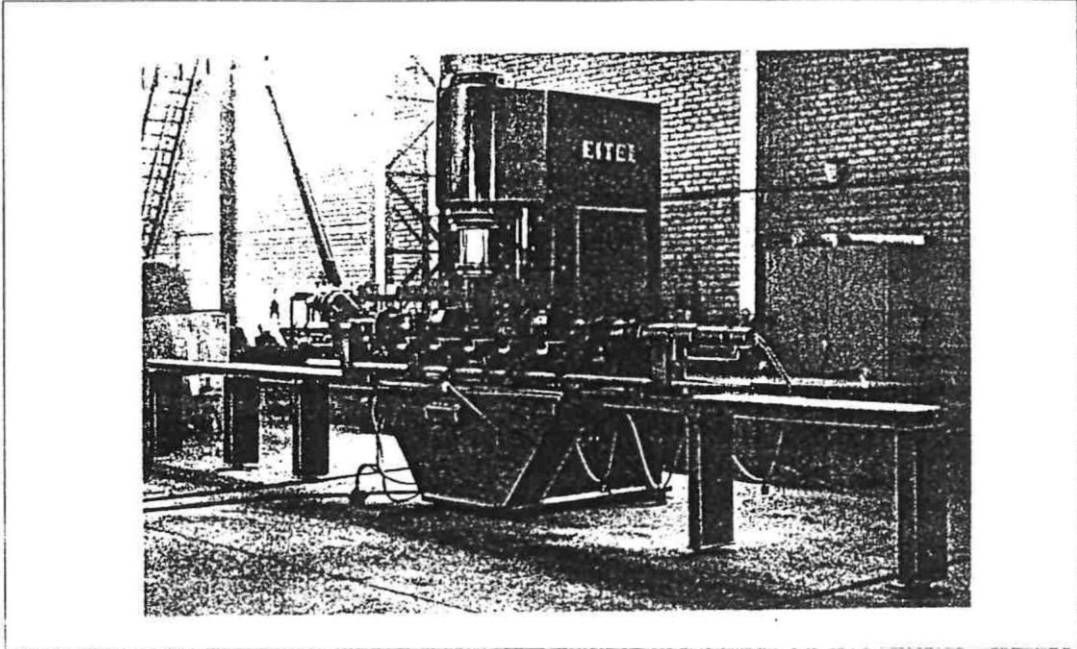


Bild 2.2.1.3 Hydraulische, hubgesteuerte Richtpresse /26/

2.2.2 Gesenkbiegen

Das Gesenkbiegen wird unterteilt in das hauptsächlich angewendete Biegen im V-Gesenk, in einem U-förmigen Gesenk und das Biegen mit variabler Gesenkweite.

Am Beispiel des V-Gesenkbiegens sollen hier die einzelnen Teilvorgänge dargelegt werden:

- Begonnen wird der Freibiegevorgang mit dem Aufsetzen des Stempels auf das Werkstück und ist entweder dann beendet, wenn sich die Schenkel des Biegeteils an die Gesenkwände anlegen, oder dann, wenn der kleinste Biegeteilinnenhalbmesser kleiner wird als der Stempelradius.

In beiden Fällen ist nämlich die Werkzeugform, das heißt, die Stempel- bzw. die Gesenkform für den weiteren Ablauf des Vorgangs entscheidend.

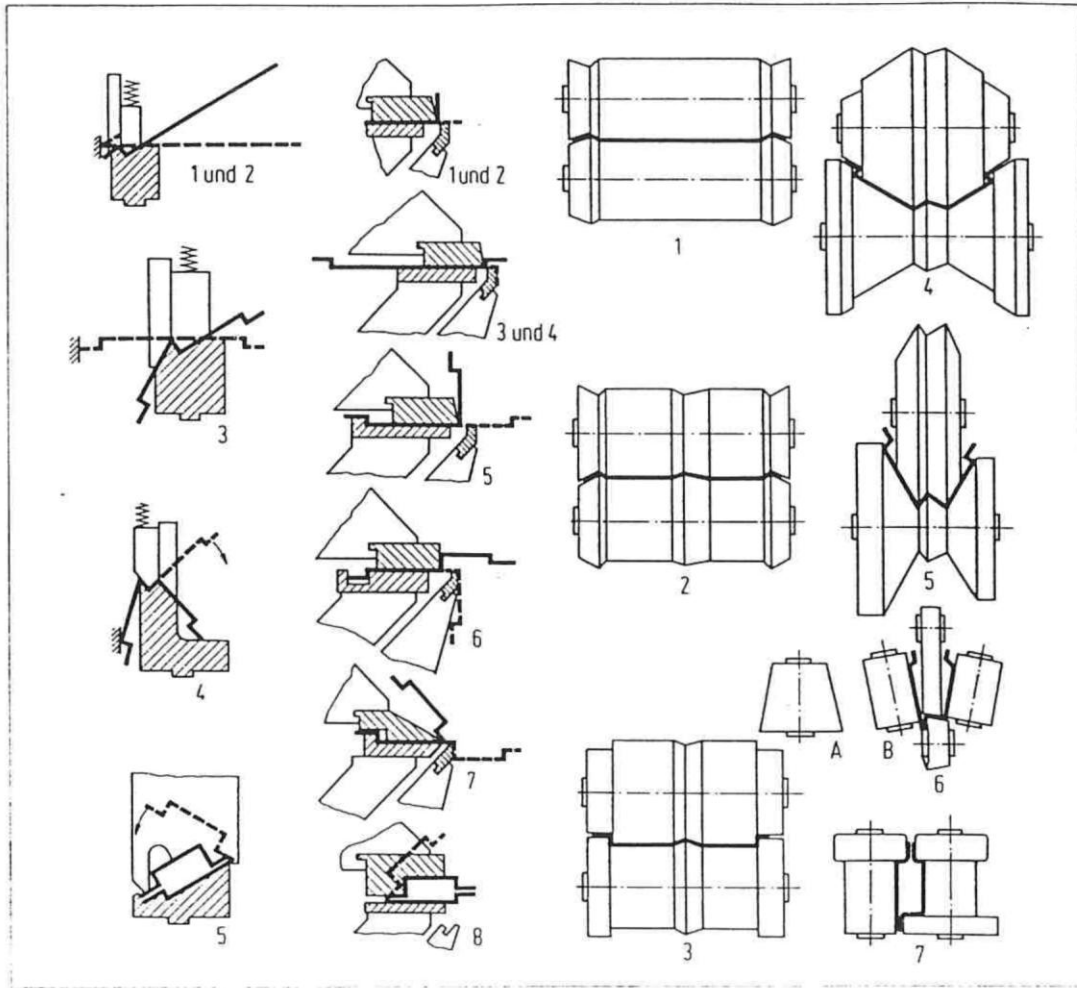


Bild 2.2.4 Fertigung eines Türrahmenprofils /33/

2.3 Einführung in die Verfahren Schwenk- und Gesenkbiegen

2.3.1 Schwenkbiegen

Eine Schwenkbiegemaschine besteht hauptsächlich aus drei Funktionselementen Schwenkwange, Ober- und der Unterwange. Der Biegevorgang wird durchgeführt, indem das zu biegende Blech zwischen Ober- und Unterwange so eingeklemmt wird, daß ein freier Schenkel übersteht. Die schwenkbare Biegewange biegt anschließend diesen freien Schenkel

bis zum gewünschten Winkel. Dabei legt sich das Blech um eine an der Oberwange befestigten Schiene, deren Kante für einen Formbiegevorgang gerundet ist.

Wird eine Spitzschine verwendet handelt es sich um einen Freibiegevorgang. Dieser ist dann beendet, wenn der kleinste auftretende Biegehalbmesser kleiner ist als der Rundungshalbmesser der Spannbacke /26/.

Die drei Hauptelemente des Schwenkbiegens stellt das folgende Bild dar:

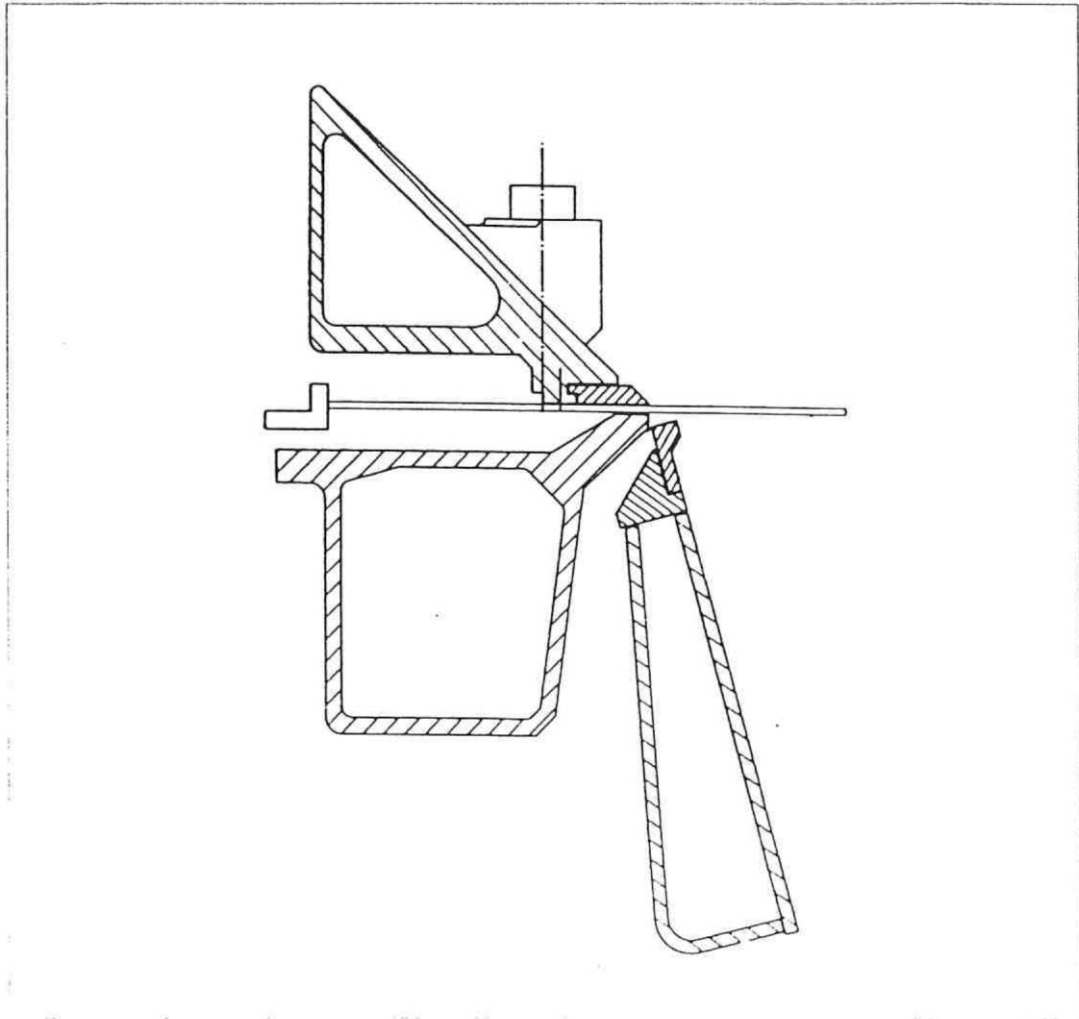


Bild 2.3.1 Funktionselemente beim Schwenkbiegen /34/

2.3.1.1 Schwenkbiegemaschinen

Schwenkbiegemaschinen können, bedingt durch die im Vergleich zum Gesenkbiegen nur halb so großen Biegekräfte (freies Biegen), leichter und damit preisgünstiger konstruiert werden als Gesenkbiegemaschinen. Die Oberwangenquerschnitte werden funktionsgerecht, bei kleinen Abmessungen und geringstem Gewicht, ausgelegt.

Dazu haben sie die Form eines Dreiecks, dessen schräge Seite der Biegezone zugewandt ist. Die Lage der Wangenführung ergibt sich aus dem Systemschwerpunkt.

Bei der Standardausführung beträgt die Frontschräge 45° . Diese Oberwangenausführung hat weiterhin den Vorteil, das Doppelwinkel (C-Profil) mit einem Seitenverhältnis $a/b=1$ gebogen werden können.

Mit einer Oberwangenfrontschräge von 30° erhält man den Vorteil, bei gleicher Querschnittsfläche und gleichem Trägheitsmoment das Länge-Breite-Verhältnis um den Faktor $0,85 \cdot a$ verkleinern zu können. Nachteil dieser Konstruktion ist, daß nur ein C-Profil mit einem Seitenverhältnis $a/b = 1/\tan 30^{\circ}$ gekantet werden kann.

Wangen mit einem fast quadratischen Querschnitt und einer Frontschräge von 5° werden verwendet, um Hohlkörper mit einem kleinen Querschnitt so zu biegen, daß die Oberwange innerhalb des Hohlkörperquerschnittes liegt.

C-Profile können damit allerdings nur bei Einsatz von besonderen Schienen hergestellt werden:

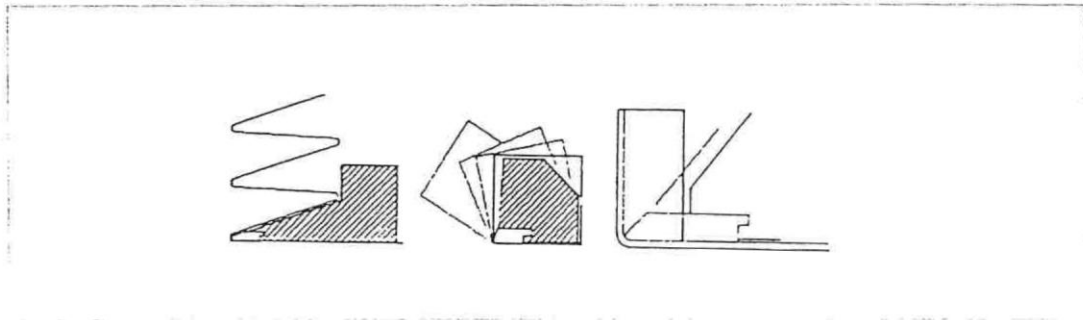


Bild 2.3.1.1.1 Sonderschienen /34/

Liegt die Oberwange innerhalb des Hohlkörperquerschnitts, erfordert es besondere Maßnahmen, das Profil von der Schwenkbiegemaschine zu entnehmen.

Ist der Profilquerschnitt, bei kleiner Eigenstabilität, groß genug, kann man ihn über die geöffnete Oberwange abziehen:

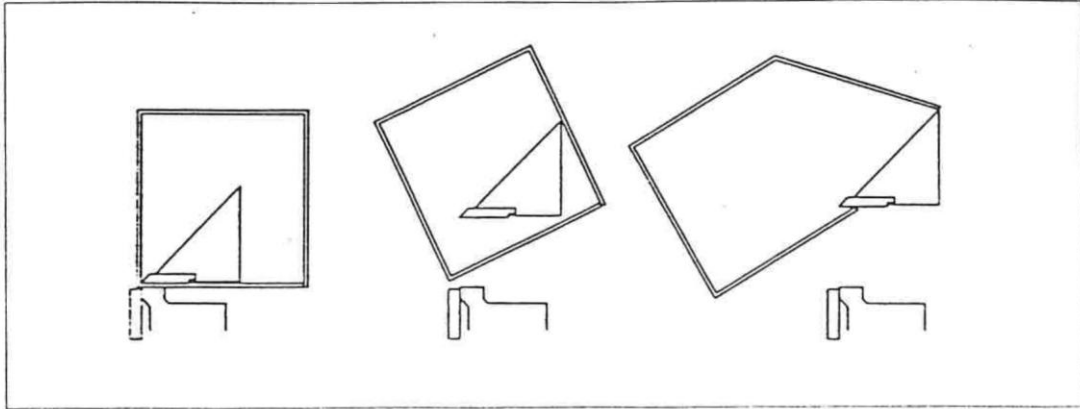


Bild 2.3.1.1.2 Entnahme des Werkstückes über die Oberwange /34/

Ist das Profil zu steif, um über die Oberwange abgezogen zu werden, wird es nötig, diese auszuschwenken. Das wird durch Schwenkbiegemaschinen realisiert, deren Oberwange, je nach Gewicht, von Hand oder mechanisch, pneumatisch bzw. hydraulisch ausgeschwenkt werden.

2.3.1.2 Werkzeuge und Sonderwerkzeuge

Für das Schwenkbiegen wird eine Vielzahl von Werkzeugen angeboten. Ein automatischer Werkzeugwechsel wird häufig durch eine drehbare Oberwange realisiert:

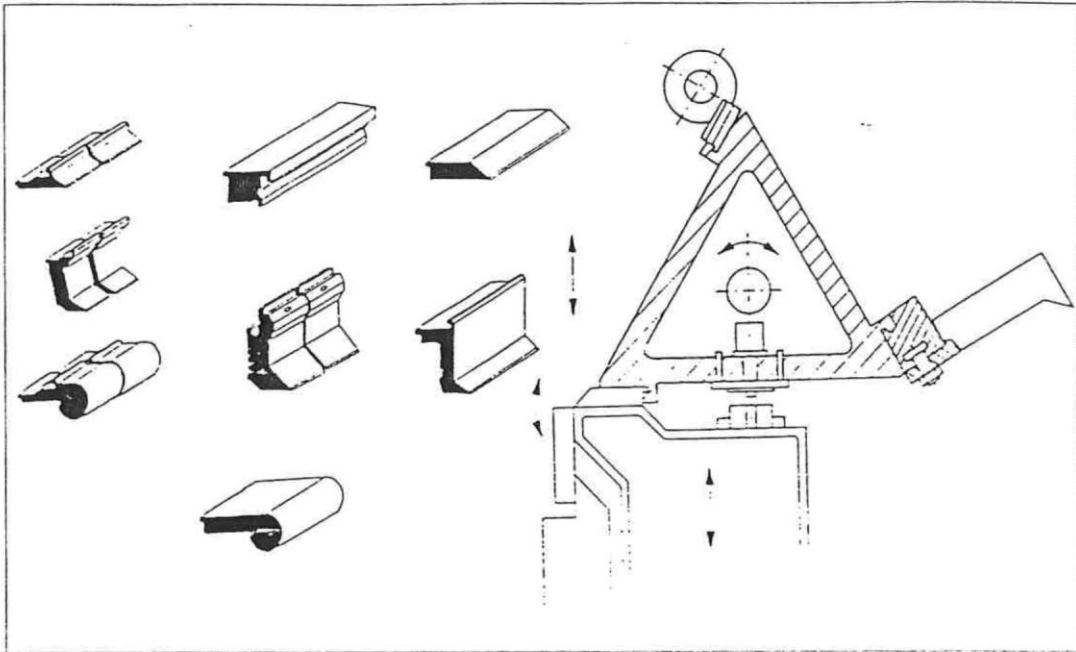


Bild 2.3.1.2 Sonderwerkzeuge

Drehbare Oberwange

2.3.1.3 Auslegung von Schwenkbiegemaschinen

Grenzen in der Fertigung von Schwenkbiegemaschinen werden durch maximal erreichbare Kräfte, sowie durch die maximal zulässige Maschinenauffederung gesetzt.

Bei einem Biegeradius $r_i = 1,4 \cdot s$ legt man die kleinste, zu biegende Schenkellänge a_0 mit:

$$a_0 = 8 \cdot s \quad (s = \text{Blechdicke})$$

aus, um die auftretende Biegekraft in Grenzen zu halten /36/.

Die Blechdicke s und die Biegelänge B_i bestimmt unter anderem das zur Umformung nötige Moment. Üblicherweise liegt die maximale Blechdicke beim Schwenkbiegen bei 3 mm.

Der Versuch, kleinere Biegelängen und größere Blechdicken zu biegen, bewirkt eine größere Maschinenauffederung.

Wird die Blechdicke beispielsweise um den Faktor 1,4 bei gleichzeitiger Biegelängenreduzierung um den Faktor 0,35 vergrößert, erhöht sich die Durchfederung um das 1,62-fache.

Zur Kompensierung dieser Durchfederung setzt man häufig bombierte Biegeschienen ein.

Den Nachteil der erhöhten Werkzeug- und Lagerkosten kann durch einstellbare Bombiereinrichtungen gemindert werden, bei denen die Bombierung der Oberwange genau festzulegen ist.

Hierbei werden entweder schräge Ebenen gegeneinander verschoben, oder es werden Stellspindeln über ein System aus Schnecke und Schneckenrad bewegt, um so die Bombierung zu vergrößern oder zu verkleinern. Diese Verstellungen werden zum Erreichen eines hohen Automatisierungsgrades numerisch kontrolliert, motorisch durchgeführt.

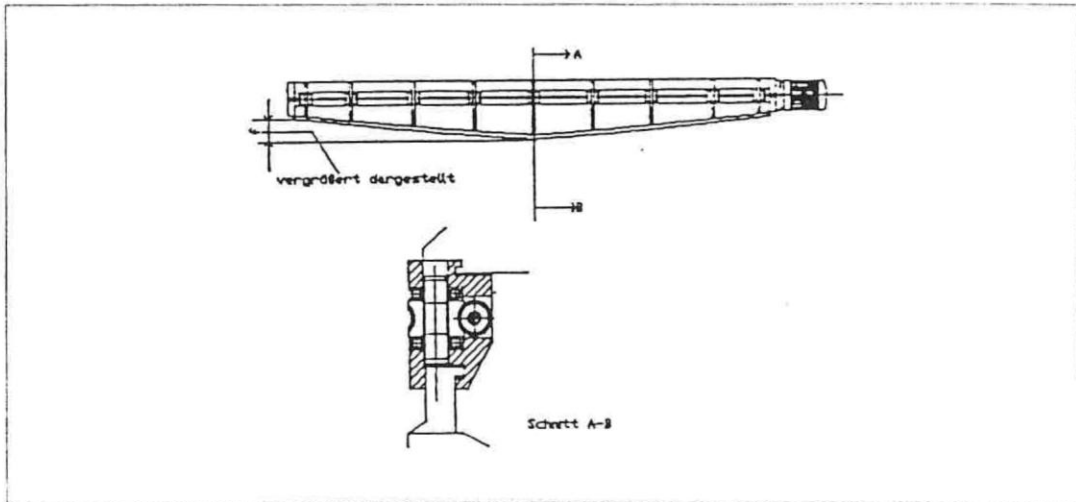


Bild 2.3.1.3 Bombiereinrichtung

2.3.1.4 Verfahrensvarianten des Schwenkbiegens

Unter den vielen Verfahrensvarianten des Schwenkbiegens sind die wichtigsten das flexible Schwenkbiegen, das Radienbiegen, das Rollbiegen, sowie das Gegenbiegen. Schwenkbiegemaschinen können auch zum Stanzen genutzt werden.

Es wird an dieser Stelle nur das flexible Schwenkbiegeverfahren näher erläutert.

2.3.1.5 Flexibles Schwenkbiegen

Im Gegensatz zum einfachen Schwenkbiegen, bei dem sich der Radius, mit dem sich die Schwenkwange um ihren Drehpunkt bewegt, während des Umformprozesses nicht ändert, wird beim flexiblen Schwenkbiegen die elektromotorisch verstellbare Schwenkwange so gesteuert, daß der große Abstand des Berührungspunktes zwischen Schwenkwange und Blech zur Oberwangenspitze vermieden und die Größe der Umformzone somit direkt beeinflussbar wird.

Aufgrund der kleinen Schwenkwangenanstellung zu Beginn des Umformvorgangs löst sich der Kontaktpunkt zwischen Schwenkwange und Blech schnell von der Schwenkwangenkante und die Umformzone bleibt klein.

Das flexible Schwenkbiegen erzeugt damit einen gleichmäßigen Verlauf der Außenkontur des Bleches, da sich der Berührungspunkt beim Biegen nicht wie im herkömmlichen Verfahren an die Einspannung annähert, sondern sich von dieser entfernt /70/.

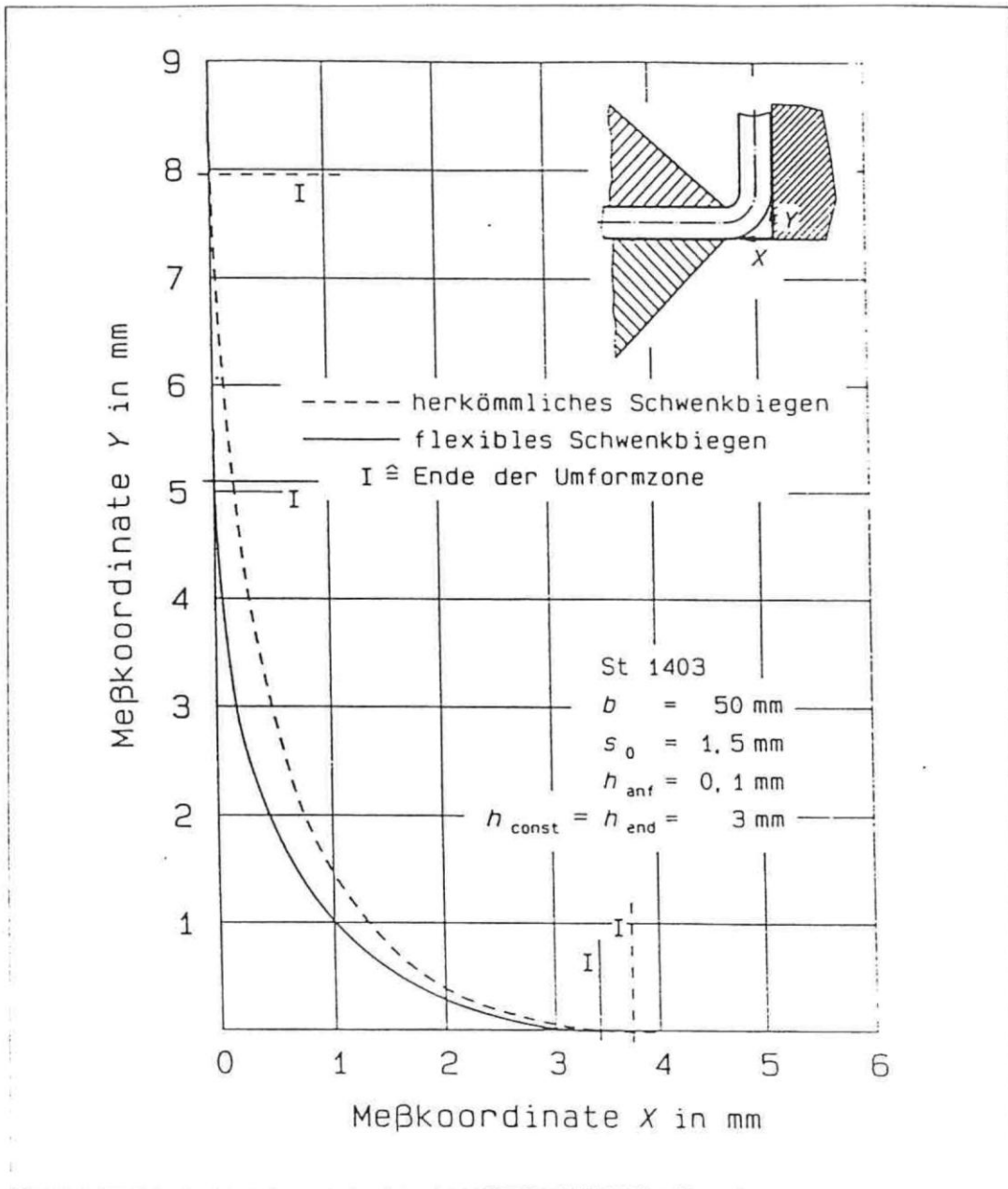


Bild 2.3.1.5.1 Unterschiedliche Biegelinienverläufe beim herkömmlichen und beim flexiblen Schwenkbiegen

Die veränderte Berührungspunktwanderung bewirkt einen unterschiedlichen Biegekraftverlauf. So sind die Maximalkräfte beim flexiblen Schwenkbiegen deutlich geringer als beim herkömmlichen Schwenkbiegeverfahren, mit der Folge, daß durch die geringere elastische Verformung der

Maschine ein gleichmäßigerer Biegewinkelverlauf über die Blechbreite erreicht werden kann.

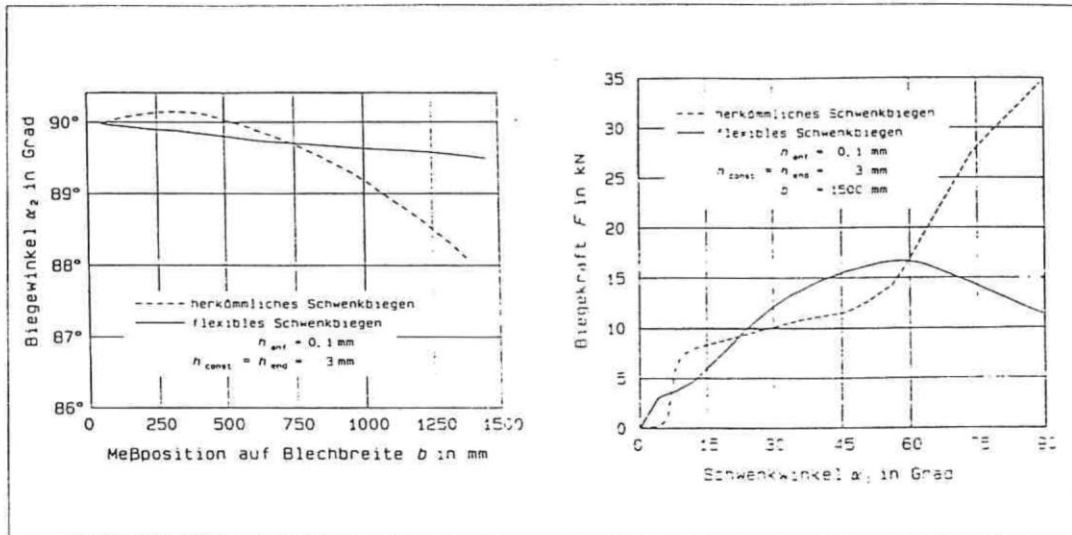


Bild 2.3.1.5.2 Biegelinienverlauf über die Blechbreite und Biegekraftverläufe

2.3.2 Gesenkbiegen

"Gesenkbiegen ist Biegen zwischen Biegestempel und Biegegesenk bis zur Anlage des Werkstücks im Gesenk; es kann mit Gesenkdrücken im gleichen Arbeitsgang kombiniert werden" /6/.

Damit unterscheidet man das Gesenkbiegen in einen Freibiegevorgang und in einen Prägebiegevorgang.

Das Werkstück wird auf einer Matrize positioniert und durch einen sich abwärts bewegendem Stempel umgeformt. Das Werkzeug dient beim Freibiegevorgang allein zur Übertragung von Kräften und Momenten auf das Blech. Dabei bildet sich die Werkstückform frei heraus und ist nicht primär von der Geometrie des Werkzeugs abhängig. Solange sich die Schenkel des Biegeteils noch nicht an die Gesenkwände anlegen oder aber der Stempelradius noch kleiner als der kleinste Innenradius des Biegeteils ist, spricht man noch vom freien Biegen.

Eine hohe Maßgenauigkeit erhält man, indem durch den Prägebiegevorgang das Blech dem Gesenk angepaßt wird. Durch den damit erzwungenen Biegeradius werden enge Winkeltoleranzen und eine hohe Formgenauigkeit möglich.

Dieses Nachdrücken erfordert allerdings einen 2 bis 10-fach höheren Kraftaufwand /37/.

Nachteilig ist ebenfalls die, durch die eindeutige Zuordnung von Werkzeug- und Werkstückform, geringe Flexibilität.

Die verschiedenen Umformzonen zeigt das folgende Bild.

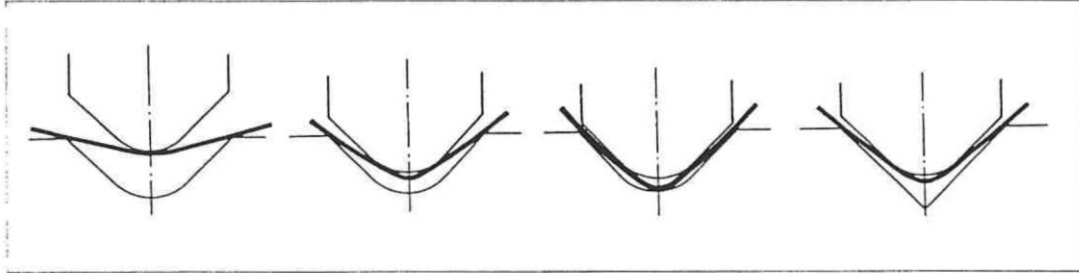


Bild 2.3.2 Gesenkbiegen unterteilt in seine Umformphasen

2.3.2.1 U-Biegen

Zur Fertigung von U-Profilen dient das U-Biegen. Hierbei werden beide Biegungen des Profils mit einem Stempelhub hergestellt.

Varianten des U-Biegens sind das ein- bzw. zweistufige Biegen mit und ohne Gegenhalter. Das U-Biegen ohne Gegenhalter verlangt hohe Nachdrückkräfte, um eine Vorwölbung des Steges zu vermeiden. Daraus resultiert ein erhöhter Energiebedarf und eine erhöhte Maschinenauffedernung.

Ein Gegenhalter verhindert eine Vorwölbung des Steges, ein Nachdrücken ist nicht mehr erforderlich. Zur Korrektur der Rückfederung bietet sich ein zweistufiges U-Biegen an, wobei das Blech in der ersten Stufe vorgeformt und in der zweiten Stufe gezielt überbogen wird.

2.3.2.2 Freies Gesenkbiegen

Im Gegensatz zum U-Biegen handelt es sich beim Freien Biegen nicht um einen Prägebiegevorgang. Am Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren der Universität Dortmund wurde ein flexibles Universalwerkzeug entwickelt, das aus zwei stufelos anstellbaren Gesenkhälften besteht, das Freibiegen ermöglicht und zusätzlich das Biegen mit drehbaren Gesenkflanken erlaubt /68/.

Kennzeichnend für das Freie Biegen ist die sich frei herausbildende Werkstückform. Diese Form hänge nicht von der Geometrie des Werkzeuges, sondern von deren relativer Lage zueinander ab. Formbestimmende Werkzeugparameter sind die Gesenkweite, der Stempelweg, die Anschlagposition und der Stempelradius /5/.

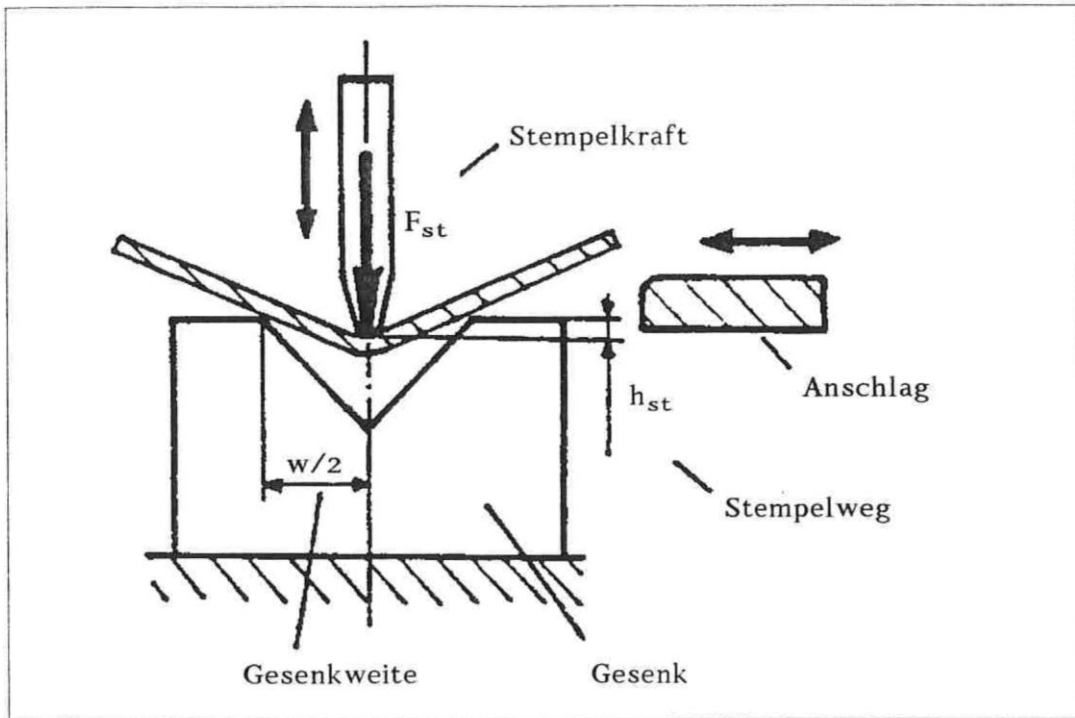


Bild 2.3.2.2 Freies Gesenkbiegen

3. Qualitätsmanagement und Qualitätsdatenerfassung

3.1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Teil des Qualitätsmanagements, dessen Anwendung in der Blechumformung durch Schwenk- und Gesenkbiegen sinnvoll ist.

Deshalb werden hier kurz die entsprechenden Qualitätssicherungsverfahren vorgestellt und der Zusammenhang zum Konzept des Qualitätsdatenerfassungssystems verdeutlicht.

3.1.1 Der Begriff Qualität

Die Definition des Begriffes Qualität hat in den letzten Jahrzehnten einen Wandel erfahren. Beinhaltete dieser früher die Eigenschaft eines Produktes, wie zuverlässiges Arbeiten, Langlebigkeit etc., so umfaßt er in der heutigen Definition als Qualitätsmanagement in einer ganzheitlichen Sichtweise den gesamten Lebenszyklus, angefangen von der Marktforschung bis hin zur Entsorgung des Produktes. Dies wird in einem sogenannten Qualitätskreis dargestellt /15/.

Der Wandel stellt sich wie folgt dar:

Qualität ist:

1972

Beschaffenheit, mit der die Ware dem Verwendungszweck genügt.
(Deutsche Gesellschaft für Qualität)

1979

Gesamtheit von Eigenschaften und Merkmalen eines Produktes oder einer Tätigkeit, die sich auf deren Eignung zur Erfüllung gegebener Erfordernisse beziehen. (DIN 55350 Teil 11, Entwurf April 1979)

1987

Beschaffenheit einer Einheit, bezüglich ihrer Eignung, fest gelegte und vorausgesetzte Anforderungen zu erfüllen.
(DIN 55350 Teil 11, Mai 1987)

3.1.2 Der Qualitätskreis nach DIN 55350

Der Qualitätskreis beschreibt die verschiedenen Qualitätselemente eines Produktes von der Idee bis hin zur Entsorgung. Anhand der folgenden Graphik soll dargestellt werden, in welchen Bereichen sich diese Arbeit bewegt /15/.

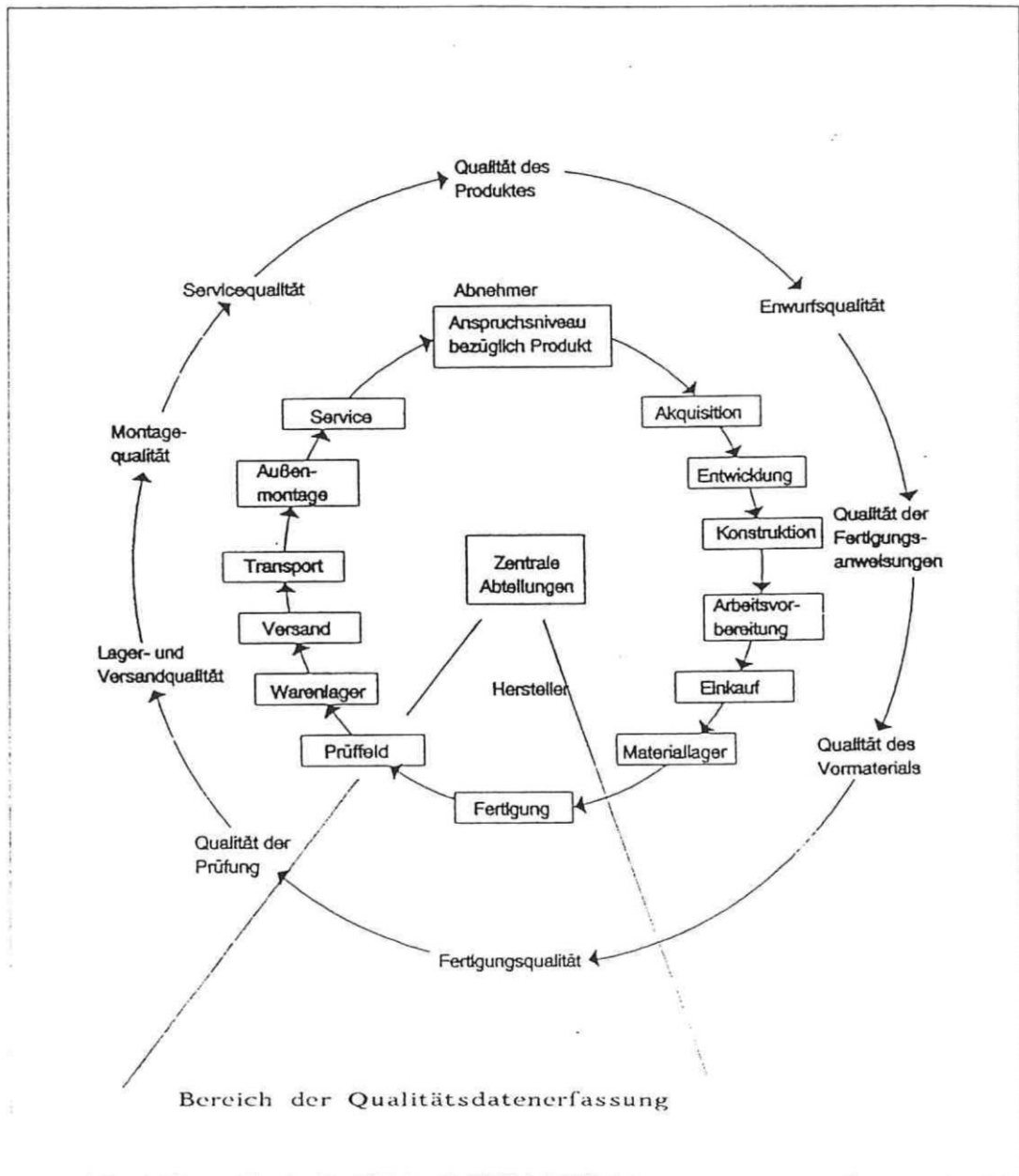


Bild 3.1.2 Qualitätskreis

3.1.3 Qualitätssicherung als Regelkreis

Ein wichtiges Element des modernen Qualitätsmanagements ist es, einen Rückfluß von Daten zu ermöglichen und so das Wissen und die Erfahrungen, die in unterschiedlichen Bereichen des Produktionszyklus gemacht wurden, für die Planung zukünftiger, bzw. für die Verbesserung

bestehender Produktionsprozesse nutzbar zu machen.

Zur Beschreibung und Systematisierung wurden Regelkreise entwickelt. Ziel eines effizient arbeitenden Qualitätsmanagementsystems ist es, die aus Qualitätsinformationen abgeleiteten Erkenntnisse zur Steuerung der Produktion kurzfristig verfügbar zu machen. Es ist deshalb notwendig, den Regelkreis Fehler-Fehlerursache-Korrekturmaßnahme systematisch und funktionell aufzubauen.

Dabei funktioniert dieser Regelkreis auf menschlicher Ebene informell zwischen Prüfer und Fertigungspersonal dann reibungslos, wenn die einzelnen Abschnitte überschaubar und die aus der Komplexität des Produktes herrührenden Aufgaben und Anforderungen nicht zu hoch sind. Im allgemeinen Fall ist es jedoch zwingend erforderlich, bereits auf dieser Ebene verbindliche Strukturen für den Informationsfluß zu planen und vorzugeben.

Als Ausgangspunkt eines zweiten Regelkreises müssen zunächst die, entweder manuell oder automatisch ermittelten Qualitätsdaten aufbereitet und statistisch interpretiert werden. Für die verschiedenen Bereiche des Unternehmens sind, ausgehend von diesen Daten, verschiedene Informationsarten und -verdichtungen erforderlich, um damit in allen Unternehmensebenen sowohl eine kurzfristige Steuerung des Gesamtsystems, als auch eine Grundlage für künftige Entwicklungen zu schaffen.

Dabei geht es nicht nur darum, durch Trendanalysen rechtzeitig vor Eintreten des aktuellen Störfalls infolge der Veränderung der Fertigungsbedingungen entgegenzusteruern, sondern auch die Ergebnisse und Schadensfälle beim Kunden mit zu berücksichtigen /14/.

Im Qualitätssicherungssystem selbst befindet sich der dritte Regelkreis. Ist als Resultat einer durchgeführten Prüfplanung einmal vorgegeben, mit welcher Häufigkeit und mit welchen technischen Mitteln ein bestimmtes Qualitätsmerkmal geprüft werden soll, muß diese Vorgabe aufgrund sich durch verschiedene Einflüsse verändernder Randbedingungen angepaßt werden. So wird zum Beispiel bei Serienanlauf eines neuen Produktes ein völlig anderer Prüfaufwand betrieben werden müssen wie bei einer Produktion, die bereits seit einiger Zeit mit großen Stückzahlen läuft. Doch selbst in diesem "eingeschwungenen" Zustand kann sich z.B. durch Veränderungen der Zuliefererqualität die Notwendigkeit ergeben, den Prüfumfang bzw. den Prüfaufwand den aktuellen Erfordernissen anzupassen. Dies führt besonders auch in der Blechteilfertigung zu Problemen aufgrund schwankender Blechqualitäten der Zulieferer.

Hierzu ist für diesen Regelkreis eine Methodik zur Dynamisierung der Prüfplanung aufgrund umfassender Qualitätsinformation aus allen Unternehmensbereichen zu entwickeln und einzusetzen, um damit die erforderliche Ausführungsqualität wirtschaftlich zu erzeugen. Ein Teil des

Unternehmensbereiches Fertigung in der Blechumformung ist der Arbeitsplatz freies Schwenk- oder Gesenkbiegens.

Um zu planen, welche qualitätsrelevanten Daten erfaßt und wie sie weiterverarbeitet werden sollen, ist es wichtig, die heute angewandten Qualitätsmanagementmethoden zu kennen. Die für diese Arbeit relevanten Punkte werden hier kurz vorgestellt und ihr Zusammenhang zur Qualitätsdatenerfassung dargelegt, ansonsten sei auf die einschlägige Literatur verwiesen /12/14/15/.

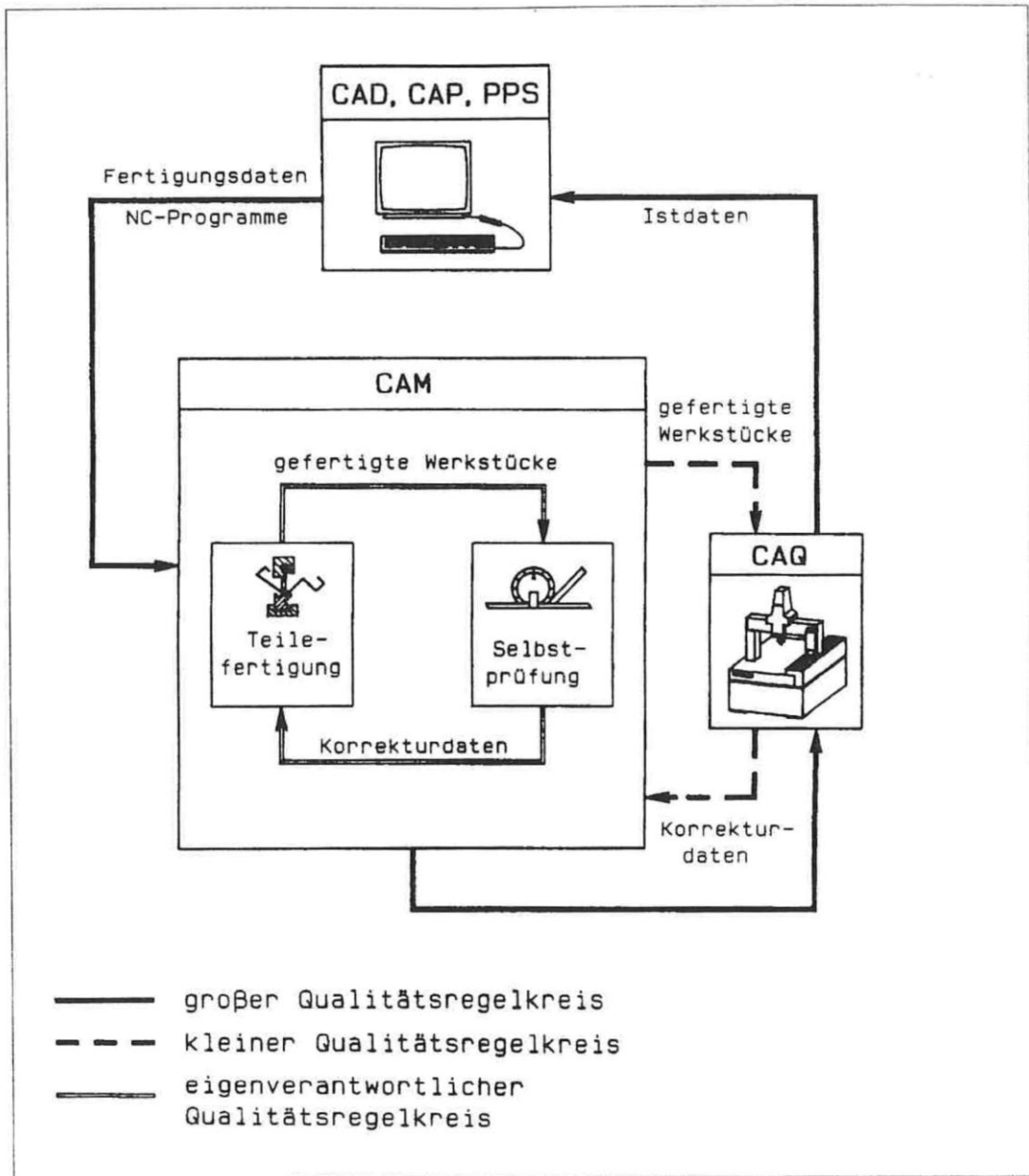


Bild 3.1.3 Qualitätsregelkreise in der Blechteilefertigung

3.2 Beschreibung ausgewählter Qualitätssicherungsverfahren

Die hier näher erklärten Verfahren sind: Failure Modes and Effects Analyses (FMEA), Design Of Experiments (DOE) und die statistische Prozessregelung (SPC).

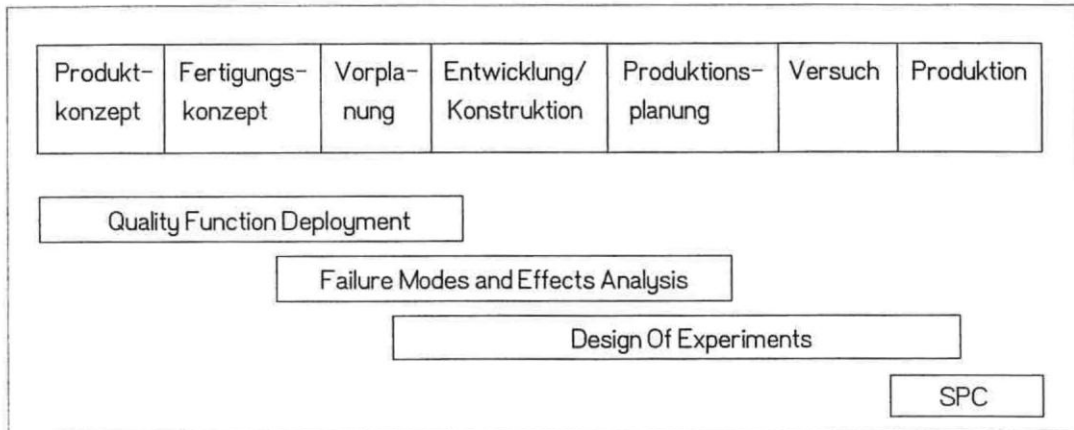


Bild 3.2 Methoden der Qualitätssicherung im Produktionsprozeß

3.3 Das Quality Function Deployment

Für das ebenfalls häufig als Qualitätssicherungsverfahren eingesetzte Quality-Function-Deployment (QFD) spielt die Erfassung von Qualitätsdaten am Arbeitsplatz eine untergeordnete Rolle. Die zur Erstellung eines "House of Quality" benötigten Daten sind die Kundenwünsche und der Stand der Wettbewerber. Zur Quantifizierung der Schwierigkeitsgrade der Realisierung technischer und qualitativer Merkmale und deren Korrelation zu den Kundenwünschen ist die Kenntnis der erreichbaren Qualitätsgrenzen zwar erforderlich, sie wird aber bereits durch die Sammlung der Daten für die Durchführung der oben erwähnten Qualitätssicherungsverfahren erreicht.

3.4 FMEA

3.4.1 Grundlagen der FMEA

Die Fehlermöglichkeits- und -einflußanalyse hat sich in den letzten Jahren als wirkungsvolles Instrument der präventiven Qualitätssicherung durchgesetzt.

Die FMEA stellt eine Methode zur präventiven Qualitätssicherung dar, die auf dem Grundgedanken basiert, daß Fehler, die nicht gemacht werden, auch nicht behoben werden müssen. Das Einsatzspektrum reicht dabei vom Produktentwurf bis hin zur Herstellung, wobei Wissen aus allen Bereichen des Qualitätskreises in die FMEA einfließen muß.

Eine FMEA wird nach folgenden methodischen Grundsätzen aufgebaut:

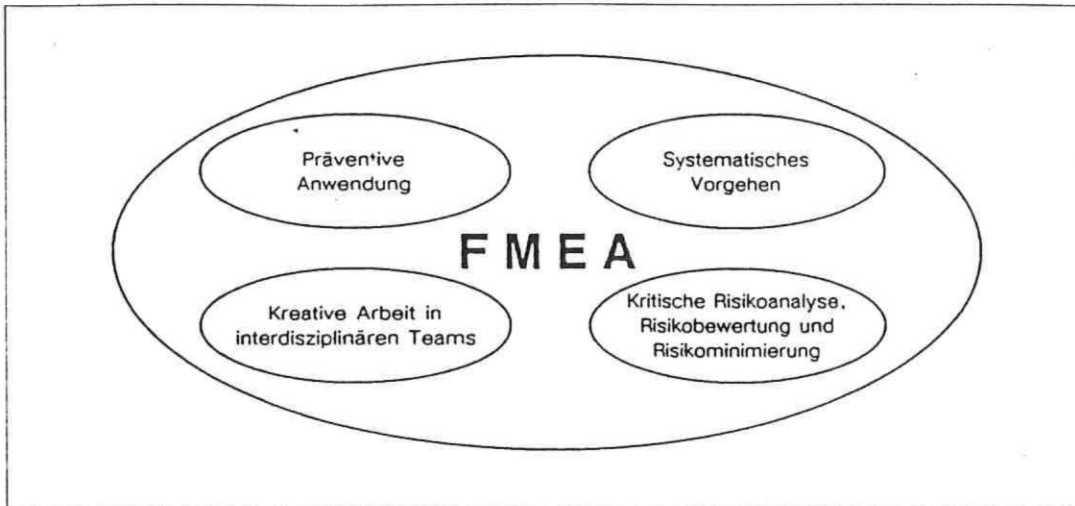


Bild 3.4.1.1 Grundsätze der FMEA

Voraussetzung für einen wirkungsvollen Einsatz einer FMEA ist, sie im Vorfeld der Produktentstehung anzuwenden. Es macht keinen Sinn, sie im nachhinein, zum Beispiel nur weil der Kunde es fordert, eine FMEA anzufertigen. Die Erstellung muß in den organisatorischen Ablauf eingliedert werden. Deshalb wird sie im Konzept dieser Arbeit in den CIM- Prozess eingebunden.

Allen Beteiligten muß der Sinn und die Vorgehensweise vor Beginn der FMEA-Erstellung erläutert werden. Wichtig ist, daß die FMEA von allen Anwendern verstanden und akzeptiert wird.

Der Erfolg einer FMEA hängt stark von dem Wissen um Fehlerursachen, Fehlerbehebung und Fehlerauswirkungen ab. In diesem Projekt wird eine Möglichkeit aufgezeigt, das Wissen und die Erfahrungswerte des Maschinenbedieners zu erfassen und, in einer Datenbank gespeichert, für andere nutzbar zu machen.

Bei der FMEA wird zunächst eine Risikoanalyse durchgeführt. Dabei werden auf der Basis vorhandener Produktinformationen die möglichen Fehler systematisch aufgelistet und auf ihre möglichen Auswirkungen, Ursachen und Maßnahmen zur Vermeidung und Entdeckung hin untersucht.

Anschließend folgt eine Risikobewertung. Diese wird mittels einer Risikoprioritätszahl (RPZ) durchgeführt, die sich aus den Faktoren für die Auswirkung, die Auftretenswahrscheinlichkeit und die Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers zusammensetzt.

Aufgrund der Ergebnisse der Risikobewertung wird für besonders risikoreiche Fehler eine Risikominimierung durchgeführt. Dazu werden geeig-

nete Maßnahmen zur Vermeidung und/oder zur Erhöhung der Entdeckungswahrscheinlichkeit vorgeschlagen. Nach der Einführung dieser Maßnahmen wird durch eine erneute Bewertung die Wirksamkeit der bisherigen Aktivitäten analysiert.

Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis sich die Risikoprioritätszahl unterhalb eines definierten Grenzwertes liegt. Damit ist dann der Zustand eines vertretbaren Risikos erreicht.

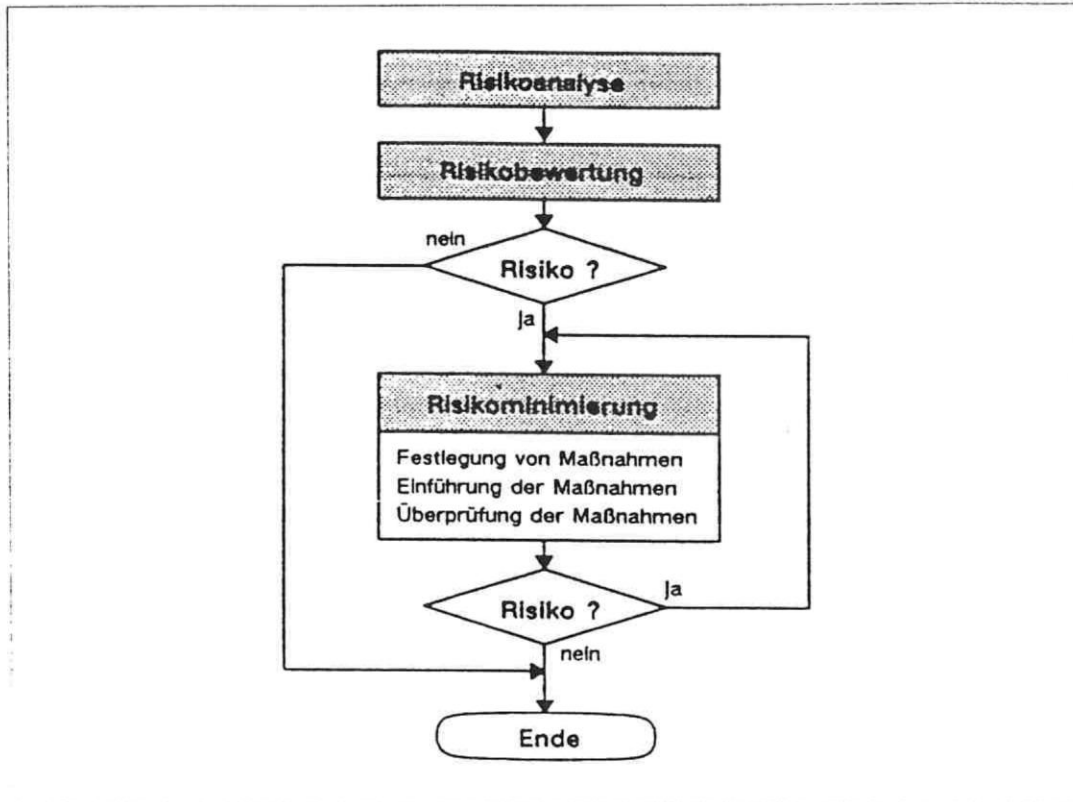


Bild 3.4.1.2 Methodische Vorgehensweise der FMEA-Bearbeitung /15/

Mit Hilfe der FMEA-Methode lassen sich alle Phasen des Produktlebenslaufes, von der Entwicklung bis hin zur Nutzung analysieren und dokumentieren. Die FMEA kann somit als "lebendes Dokument" verstanden werden.

Man unterscheidet zwischen den zwei klassischen FMEA's, der Konstruktions- und der Prozeß-FMEA, sowie der in der letzten Zeit verstärkt eingesetzten System-FMEA.

Aufgabe der innerhalb des Entwicklungsprozesses eingesetzten Konstruktions-FMEA ist es, das Produkt auf die Erfüllung der im Pflicht-

tenheft festgelegten Funktionen hin zu untersuchen. Dabei sind für alle risikobehafteten Bauteile des Produktes geeignete Maßnahmen zu Vermeidung oder Entdeckung der potentiellen Fehler zu planen. Die Maßnahmen können sowohl Konstruktion als auch Herstellungsprozeß betreffen.

Die Prozeß-FMEA wird noch vor der eigentlichen Herstellung des Produktes, also innerhalb des Produktionsplanungsprozesses angewendet. Sie baut logisch auf den Ergebnissen der Konstruktions-FMEA auf. Ein Fehler der Konstruktions-FMEA, dessen Ursache im Herstellungsprozeß liegt, wird folgerichtig als Fehler in die Prozeß-FMEA übernommen.

Aufgabe der Prozeß-FMEA ist es, jeden Teilprozeß des Herstellungsprozesses auf die Eignung zur Herstellung der geforderten Produkteigenschaften hin zu untersuchen. Dabei sind für alle Fehler, die bei der Herstellung des Produktes auftreten können, geeignete Maßnahmen zu deren Vermeidung oder Entdeckung zu planen.


Nach der Erstellung der Konstruktions-FMEA wird die System-FMEA angefertigt. Während die Konstruktions-FMEA und die Prozeß-FMEA das Produkt jeweils unter dem speziellen Gesichtspunkt der Produktentstehungsphase untersuchen, dient die System-FMEA zur Analyse eines Systems unter einem ganzheitlichen Aspekt.

Sie wird aus einzelnen, ein System oder ein Untersystem darstellenden Konstruktions-FMEAs zusammengesetzt. Aus diesen werden die wichtigsten Fehlerarten herausgezogen und deren Fehlerauswirkungen auf das System untersucht. Die Risikobewertungen für die Fehlerauswirkung können dann zur systembezogenen Bewertung in der Konstruktions- und Prozeß-FMEA verwendet werden.

Aufgabe der System-FMEA ist es, die systembezogenen Fehlerfolgen zu analysieren. Sie dient sowohl zur Weitergabe an den Kunden als auch zur Management-Information über die Risiken des Produkts.

Ein Beispiel für eine Konstruktions-FMEA zeigt das folgende Bild:

3. Qualitätsmanagement und Qualitätsdatenerfassung

FEHLER-MÖGLICHKEITEN- UND EINFLUSS-ANALYSE																
KONSTRUKTIONS-FMEA					PROZESS-FMEA											
		Name/Abt. /Referent R. Müller /TB/Schmid KG			Name/Abt. /Referent H. Schmid /Werkstschm			Teil-Name Verstellische Lichtmaschine		Teil-Nummer 801E-1015-01						
Bestätigung durch betriebl. Abteilungen und/oder Lieferanten		R. Müller /TB/Schmid KG			H. Schmid /Werkstschm			Modell/System/Erzeugung 1990/03/K12		Techn. Änderungsstand A-368 437/KC						
		R. Müller /Qualitätsicherung			R. Müller /Prüfung			Erstellt durch (Name-Abteilung) M. Schmidt/Techn. Entwicklung		Datum 21.10.85						
								Überarbeitet 18.11.88								
Systeme/Merkmale	Potentielle Fehler	Potentielle Folgen des Fehlers	D Potentielle Fehlerursachen	DERZEITIGER ZUSTAND					Empfohlene Abstellmaßnahmen	Verantwortlichkeit	VERBESSERTER ZUSTAND					
				Vorgesehene Prüfmaßnahmen							Risiko-Prioritätszahl (RPZ)	Getroffene Maßnahmen				
				Auftrag	Beauftragter	Completio	Risiko-Prioritätszahl (RPZ)	Auftrag				Beauftragter	Completio	Risiko-Prioritätszahl (RPZ)		
Antrieb Lichtmaschine	Materialeermüdung	Verstellflasche bricht; Lichtmaschine wird nicht angetrieben (lässt nicht)	Übermäßiger Materialeinsatz an den Kanülen und Lötlern Falsches Material benutzt Materialfehler (Verformnisse) Dimensionsabweichungen Tatsächliche Beanspruchung übersteigt Konstruktionsgrundlage	Zugversuch am Rohmaterial (1/Coll)	1	6	10	60	Zulässigen Materialeinsatz festlegen	Prod.-Entw.	mit technischer Änderung A 88743 AC vom 1/84 Einzug auf max. 4mm festgelegt	1	6	6	30	
				Prüfung (5 Teile/Stunde)	1	6	10	60	Sicherstellung auf Verformnisse	Fertigungsprüfung Fa. Schmid	mit technischer Änderung A 88743 AC vom 1/84 Förderung: "Frei von Verformungsrisiken"	1	6	6	30	
				Prüfung der wichtigsten Merkmale am Fertigteil (5 Teile/Stunde)	1	6	5	30								
					4	6	10	240	Konstruktionsänderung	Prod.-Entw.	mit technischer Änderung A 88743 AC vom 1/84 Material um 0,5mm verstärkt	1	6	3	18	

Wahrscheinlichkeit des Auftretens (Fehler kann vorkommen) unwahrscheinlich = 1 sehr gering = 2-3 gering = 4-6 mäßig = 7-8 hoch = 9-10	Bedeutung (Auswirkung auf den Kunden) kaum wahrnehmbare Auswirkungen = 1 unbedeutender Fehler, geringe Belästigung des Kunden = 2-3 mäßig schwerer Fehler = 4-6 schwerer Fehler, Verärgerung des Kunden = 7-8 äußerst schwerwiegender Fehler = 9-10	Wahrscheinlichkeit der Entdeckung (vor Auslieferung an Kunden) hoch = 1 mäßig = 2-6 gering = 6-8 sehr gering = 9 unwahrscheinlich = 10	Priorität (RPZ) hoch = 1000 mittel = 125 keine = 1
---	---	--	--

Bild 3.4.1.3 Beispiel einer Konstruktions-FMEA

3.4.2 Einbindung der FMEA in ein CIM-Konzept

Die FMEA kann als innerbetriebliche, qualitätssichernde Schnittstelle betrachtet werden. Diese Schnittstellen zu anderen CAx-Produkten sollten in einer CIM-Umgebung durch ein rechnergestütztes FMEA-System (CA-FMEA) bereitgestellt werden.

Dabei sind einige CA-Kopplungen wie z.B.: CAFMEA-CAD, CAFMEA-CAP und die für diese Arbeit wichtige CAFMEA-Qualitätsinformationssystem-Kopplung sinnvoll. Beispielsweise lassen sich Rückmeldungen aus dem CAQ/SPC-System heranziehen (z.B.: cpk-Wert für RPZ-Faktor a). Fehler, Fehlerfolgen und Fehlerursachen aus der Fertigung, dem Versuch und dem Service können zur Risikoanalyse an das FMEA-System übertragen werden /5/.

3.4.3 FMEA und Qualitätsdatenerfassung

In diesem Kapitel wird untersucht, in wie weit eine FMEA auf die Verfahren Schwenk- und Gesenkbiegen anwendbar ist und der Zusammenhang zur Qualitätsdatenerfassung dargestellt.

In der modernen Blechbearbeitung, so auch beim Schwenk- und Gesenkbiegen, wird angestrebt, die Fertigung weitestgehend zu automatisieren. Dazu gehört auch die automatische Diagnose und Weitergabe von bereits bestehenden oder möglichen Betriebsstörungen, die ein schnelles Abstellen der Fehler bewirkt /67/.

Gerade zur Durchführung einer FMEA müssen mögliche Fehler schon vor Beginn der Produktion bekannt sein. Das bedingt eine enge Zusammenarbeit der mit der Durchführung der FMEA beauftragten Gruppe mit dem Maschinenbediener, um dessen Erfahrungswissen zu nutzen.

Dieses Erfahrungswissen wird kontinuierlich über das Qualitätsdatenerfassungssystem erfaßt und liegt weiterverarbeitet in der Datenbank vor. Die Hauptfehlerursachen sind Mängel an den zugelieferten Bleche (ca 70%) und Prozeßablauffehler /66/.

Die Qualitätsfehlerbehandlung wird in Kapitel 4.6 beschrieben.

Ein typisches Beispiel ist das Zusammenwirken der Prozeß-FMEA mit der Informationsrückführung.

Reichen beispielsweise die Spannkkräfte beim Schwenkbiegen nicht aus, um das Werkstück während des Biegeprozesses sicher zu fixieren, dann werden dadurch Formabweichungen am Werkstück auftreten. Mit welcher Wahrscheinlichkeit ein derartiger Fall eintritt, ist analytisch nur schwer zu beurteilen. Tritt er auf und wurde er in einer FMEA nicht als möglicher Fehler erkannt, so muß die FMEA beim nächsten Mal entsprechend geändert werden. Ein Anlaß dazu ergibt sich aus Rückmeldungen des Systembenutzers.

Untersuchungen am Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren der Universität Dortmund haben gezeigt, daß die Durchführung einer FMEA, insbesondere der Prozeß-FMEA, sowohl beim Schwenkbiegen, als auch beim Gesenkbiegen sinnvoll ist /42/.

3.5 SPC

3.5.1 Grundlagen der statistischen Prozeßregelung (SPC)

Die Herstellung von Produkten wird von Störgrößen begleitet, die auf den Prozeß einwirken. Diese verändern die Produktmerkmale. In der Blechumformung sind Werkstoffinhomogenitäten oder Maschinen-

schwungen häufige Störursachen. Man unterscheidet dabei systematische und zufällige Einflüsse.

Die statistische Prozeßregelung zielt darauf ab, den systematischen Anteil der Störgrößen zu erfassen und danach den Prozeß gegenzusteuern. Dadurch soll der Prozeß befähigt werden, Werkstücke sicher, mit der gewünschten Qualität zu fertigen.

In der Automobilindustrie spricht man von Prozeßsicherheit und meint damit Eigenschaften des Prozesses, bestehend aus Mensch, Maschine, Methode, Material Werkzeug, Vorrichtung Steuerung einschließlich des gesamten Umfeldes.

In Anlehnung an Kirstein /38/ gibt es drei verschiedene Prozeßzustände A, B und C:

Prozeß ist		
A	fähig	beherrscht
B	fähig	nicht beherrscht
C	nichtfähig	nicht beherrscht

Bild 3.5.1 Prozeßzustände nach Kirstein

Das Ziel der Qualitätssicherung ist es, in diesem Sinne fähige und beherrschte Prozesse zu schaffen (A). Der nicht beherrschte, aber fähige Prozeß (B) sollte durch eine bessere Prozeßführung in den Zustand (A) überführt werden.

Beim B-Prozeß kann die Qualität kurzfristig nur durch Aussortieren sichergestellt werden. Langfristig sind die Ursachen zu ergründen und Dauerlösungen zu finden. Besondere Maßnahmen erfordern Prozesse, die weder qualitätsfähig noch beherrscht sind (C). Sie müssen als erstes in Ordnung gebracht werden.

3.5.2 Qualitätsregelkarten

Die Qualitätsregelkarte wurde ursprünglich als Hilfsmittel für die Handregelung geschaffen. Der Aufwand für das Anlegen, Führen und Aus-

werten solcher Karten ist durch Rechnereinsatz vermindert worden.

Sie zeigt dem Benutzer an, ob ein Prozeß unter "statistischer Kontrolle" arbeitet, ob er beherrscht wird, oder nicht. Im Zustand der statistischen Kontrolle sind die Veränderungen der Produktmerkmale zufällig (stochastisch). Durch die Störungen gerät der Prozeß "außer statistischer Kontrolle".

Die Qualitätsregelkarte erlaubt dem Anwender, zwischen systematischen und zufälligen Veränderungen zu unterscheiden. Mit ihrer Hilfe sollen systematische Veränderungen erkannt und durch Nachstellen des Prozesses kompensiert werden. Regelkarten werden für die laufende Prozeßregelung vor Ort eingesetzt.

Sie ist eine graphische Darstellung von Kennwerten des Werkstücks oder des Prozesses, die als Stichproben in möglichst kleinen Abständen ermittelt werden. Sie allein trägt noch nicht zur Verbesserung des Prozesses bei. Erst wenn die Ursachen der Störungen erkannt und beseitigt sind, läßt sich der Prozeß verbessern. Die Qualitätsregelkarte zeigt also an, daß etwas unternommen werden muß, nicht aber, welche Maßnahme dazu erforderlich ist.

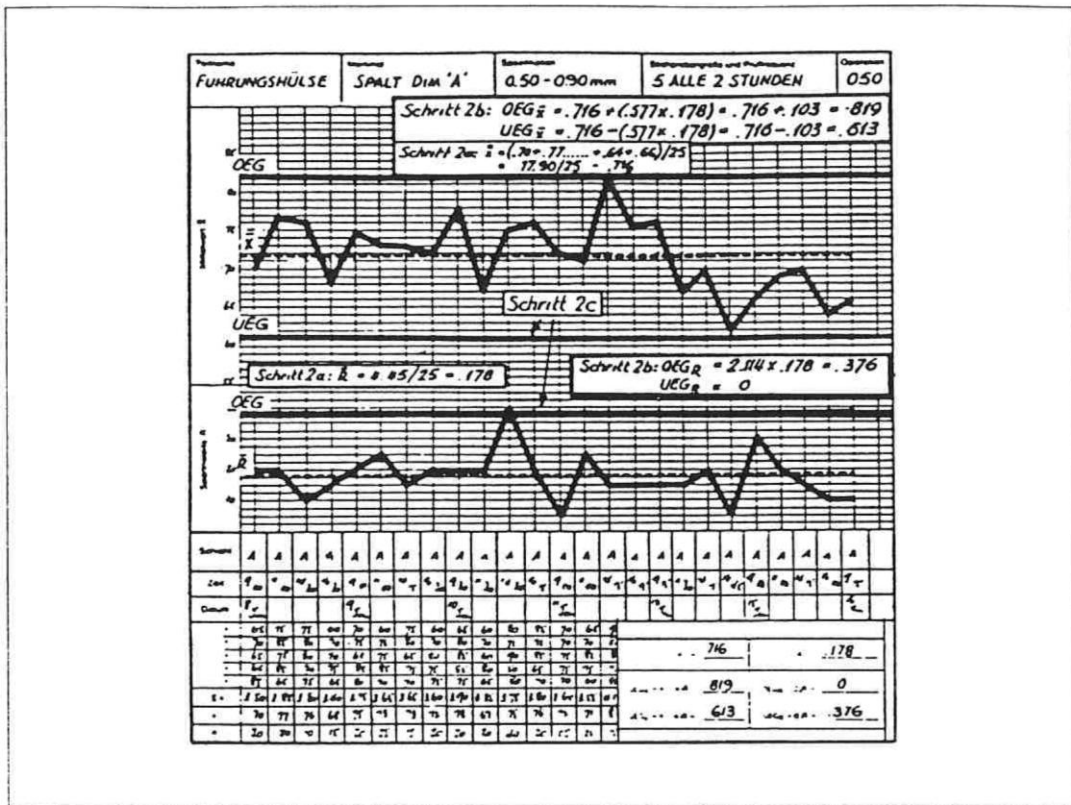


Bild 3.5.2 Qualitätsregelkarte (Ford)

3.5.3 Einbindung der SPC in ein CIM-Konzept

Sogenannte Meßcomputer stellen Qualitätsregelkarten auf dem Bildschirm dar und speichern Meßergebnisse. Die Darstellung der Häufigkeit als Histogramm, die Summenprozentwerte im Wahrscheinlichkeitsnetz und die Berechnung von Prozeß- und Maschinenfähigkeitsparametern ist möglich /39/.

Es gibt Meßcomputer, die ein Signal zur Korrektur des Prozesses liefern /40/41/.

Weitere Eigenschaften marktüblicher Computer sind:

- mehrere Eingänge und Meßstellenumschalter für viele Meßwertaufnehmer
- Kanäle für statische und dynamische Messungen
- Eingabemöglichkeit für Stammdaten
- Programmierbare Verknüpfungen der Meßsignale

- Speicherung, Auswertung und Darstellung der Meßwerte vor Ort und Weitergabe an übergeordnete Rechner

Insbesondere die letzte Eigenschaft ist für die Einbindung in das Konzept dieser Arbeit unerlässlich.

Weitere Eigenschaften, die Meßrechner hinsichtlich der statistischen Prozeßregelung zu erfüllen haben, lassen sich aus den oben beschriebenen Grundlagen, bzw. aus dem folgenden Bild ableiten.

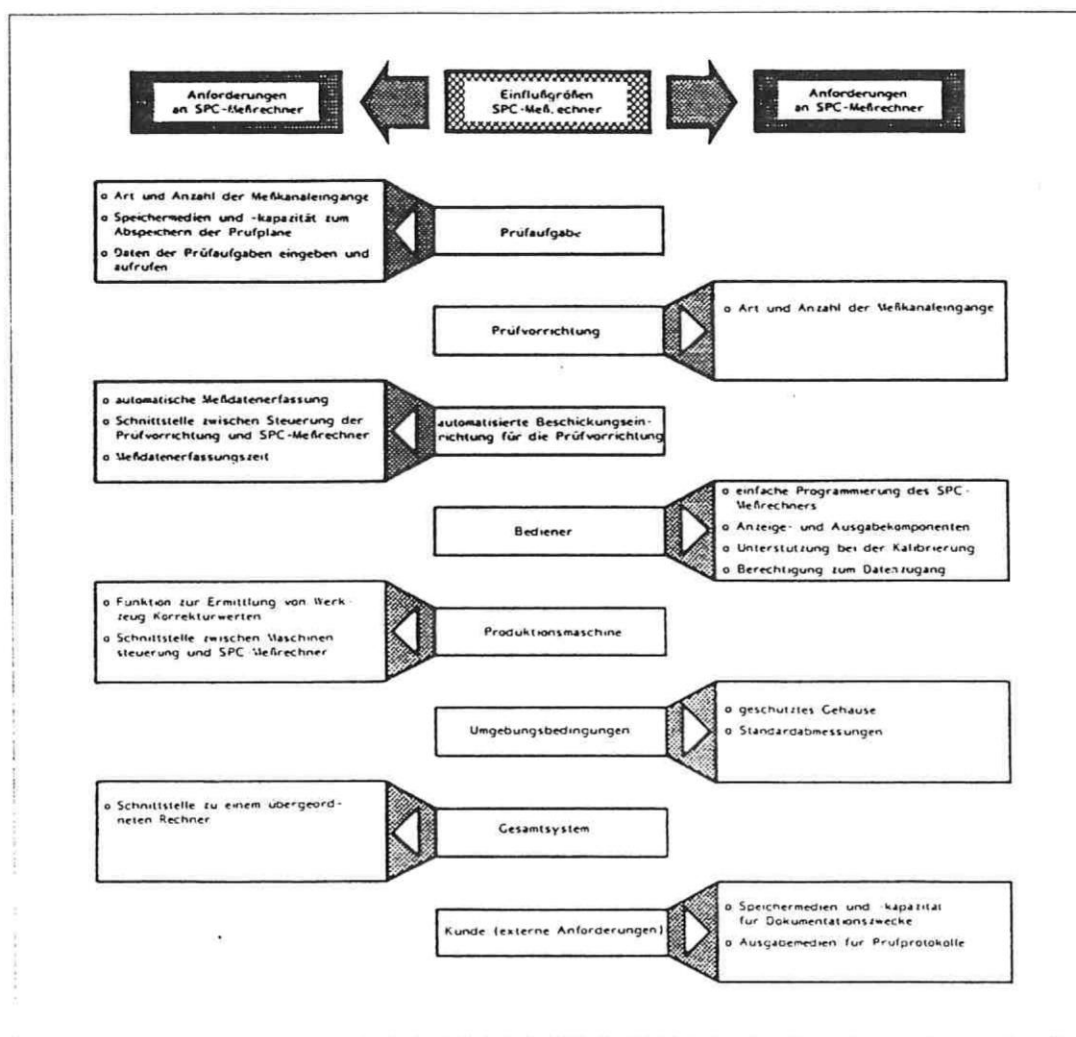


Bild 3.5.3 Anforderungen an SPC-Rechner

Die anspruchsvolleren Aufgaben bei der Bedienung eines Meßrechners liegen in der Eingabe bzw. Programmierung der Meßaufgaben. Hierzu

müssen zunächst die Daten des Prüfplans eingegeben werden, wobei Menüsteuerungen, die über Dialog aufgerufen werden, sehr hilfreich sein können. Es müssen weiterhin prüfvorrichtungsbezogene Daten, wie z.B. die Verknüpfung der Taster, eingegeben und die Kalibrierung durchgeführt werden. Auch hierbei sind bestimmte Funktionen, wie graphische Anzeigen und automatischer Tastabgleich hilfreich.

Außerdem ist es wichtig, daß die Daten des Prüfplans vor Änderungen, oder allgemeinem Zugriff geschützt sind, Meßdaten aber von jedem Mitarbeiter abgerufen werden können.

Da sämtliche Meßdaten weiterverarbeitet werden sollen, ist die Möglichkeit der Datenfernübertragung an ein übergeordnetes Rechnersystem Bedingung.

3.5.4 SPC und Qualitätsdatenerfassung

In diesem Kapitel wird untersucht, in wieweit eine SPC auf die Verfahren Schwenk- und Gesenkbiegen anwendbar ist und der Zusammenhang zur Qualitätsdatenerfassung dargestellt.

Aufgabe der SPC in einem bestehenden Fertigungsprozeß ist die Prozeßregelung (On-line) und die Prozeßüberwachung (Off-line). Für das Gesenkbiegen bietet sich aufgrund des Verfahrens und der Werkzeug-handhabung das On-line-Verfahren an.

Hierbei werden Störungen während des Prozesses über Sensoren oder durch den Maschinenbediener erfaßt und weitergegeben. Über die verschiedenen Regelkreise kann der Prozeß dann nachgeregelt werden /42/. Der Schwenkbiegeprozeß erfüllt ebenfalls die Bedingungen für die Durchführung einer SPC. Nach Untersuchungen von Geiger ist das Schwenkbiegen eindeutig regelbar /34/.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit lohnt sich die Durchführung einer SPC allerdings nur bei großen Stückzahlen.

Gepriift werden muß ebenfalls, ob der Schwenkbiegeprozeß die geforderten Qualitäten erreichen kann und ob ausreichende Stabilität vorliegt /69/.

Die automatische Meßdatenerfassung ist im Zuge der Automatisierung der Schwenk- und Gesenkbiegeverfahren schon realisiert worden (Kapitel 3.5.3). Das Erfahrungswissen des Maschinenbedieners kann sowohl für die Prozeßfähigkeitsuntersuchung zur Bestimmung der Stabilität des Verfahrens vor Produktionsbeginn als auch in einem bestehenden Prozeß zur Überwachung und Regelung sinnvoll genutzt und durch ein Qualitätsdatenerfassungssystem protokolliert werden.

3.6 Statistische Versuchsplanung (DOE)

3.6.1 Grundlagen des DOE

Gängige Praxis ist es heute, in den meisten Unternehmen zur Auslegung von Prozessen Versuche durchzuführen. Am Beginn dieser Versuche steht eine Grundeinstellung, die auf der langjährigen Erfahrung des Bedienpersonals, auf Tabellenwerken oder Katalogen basiert. Damit werden Teile produziert, die solange gemessen und korrigiert werden, bis ein brauchbares Ergebnis erreicht ist. Wird eine solche Prozeßeinstellung nicht dokumentiert, so liefert sie kein nachvollziehbares Wissen über den Prozeß.

Die Ergebnisse sind abhängig von der Erfahrung und Leistung der Mitarbeiter. Die fehlende Systematik erlaubt keine wirtschaftlich optimale Vorgehensweise.

Für das Funktionieren eines datenbankorientierten Qualitätsinformationssystems muß u.a. das Erfahrungswissen der Mitarbeiter ausgetauscht und erfaßt werden. Im Rahmen der Verfahren der statistischen Versuchsplanung wird dieses ohne großen zusätzlichen Aufwand möglich. Sie erleichtern auch optimale Auslegung der Prozesse.

Die statistische Versuchsplanung ist das Bindeglied zwischen den Methoden der FMEA und SPC.

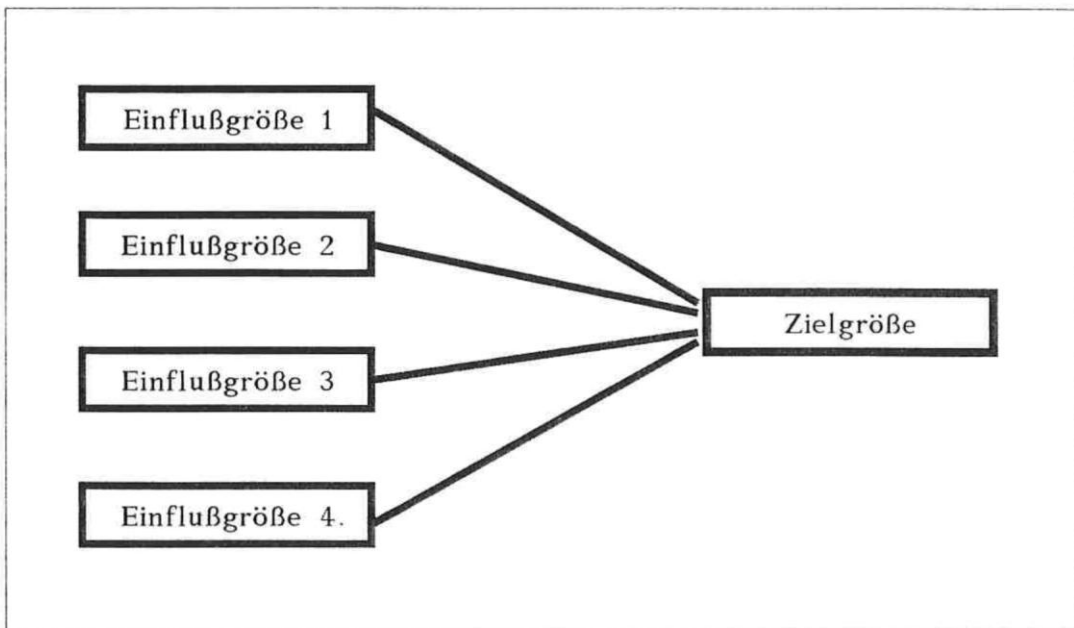


Bild 3.6.1 Analyse der Einflußgrößen als Vorstufe zur Versuchsplanung

3.6.2 Vorgehensweise und Methoden der statistischen Versuchsplanung

Um Art und Stärke der Wirkzusammenhänge eines Prozesses bestimmen zu können, ist es notwendig, die Funktion zu ermitteln, die das Prozeßergebnis signifikant beeinflussen.

In der klassischen Versuchsplanung testet man alle Einflußgrößen eines Prozesses, indem man alle möglichen Kombinationen aller Parametereinstellungen ausprobiert.

Das Ziel der statistischen Versuchsplanung ist es, mit möglichst geringem Versuchsaufwand detaillierte Information über den Prozeßverlauf und die Zusammenhänge der Prozeßparameter zu erlangen, um den Prozeß so steuern zu können, daß die hergestellten Produkte gemäß der vorgegebenen Zielsetzungen in allen Qualitätsmerkmalsausprägungen erzeugt werden.

Dazu kann man auf verschiedene Verfahren zur Einschränkung des Versuchsaufwandes zurückgreifen.

3.6.3 Die Ein-Faktor-Methode

Eine sehr häufig angewandte Methode der Versuchsplanung ist der Ein-Faktor-Versuch. Dabei wird bei einer gewählten Faktorkombination nur einer der Faktoren in seiner Eigenschaft variiert, alle anderen werden festgehalten. Durch Versuche findet man die für die Zielgröße beste Einstellung. Analog dazu behandelt man alle anderen Faktoren und erhält dadurch einzelne Zusammenhänge zwischen dem einzelnen Faktor und dem Prozeßergebnis.

Vorteilhaft ist die einfache Anwendbarkeit, vernachlässigt werden aber die Wechselwirkungen zwischen den Faktoren und Störgrößen des Prozesses.

3.6.4 Vollfaktorielle Versuchspläne

Im Gegensatz zur Ein-Faktor-Methode wird bei den anderen Theorien der Versuchsplanung eine systematische und gleichzeitige Variation aller Einflußgrößen vorgenommen.

Es werden also so viele Versuche durchgeführt, daß jeder Faktor mit jeder der möglichen Einstellstufen aller Faktoren kombiniert wird. Die ausgewogene und gleichzeitige Variation der Einflußgrößen erlaubt es, über verschiedene Einstellungen Mittelwerte zu vergleichen und sogenannte Effekte zu berechnen. Ein Haupteffekt basiert auf der Verstel-

lung einer Einflußgröße und ein Wechselwirkungseffekt auf der gleichzeitigen Veränderung mehrerer Einflußgrößen.

Bei der Auswahl der Versuche hängt die praktische Durchführbarkeit von der Anzahl der Faktoren ab. Mit steigender Anzahl dieser Faktoren wächst die Anzahl der nötigen Versuchsdurchführungen exponentiell und macht die Methoden unwirtschaftlich. So bedeuten sechs Faktoren bei drei Einstellstufen schon 729 Versuche. Somit ist es sinnvoll, Verfahren einzusetzen, die den Versuchsumfang reduzieren.

3.6.5 Versuchsmethodik nach Shainin

Shainin beschreibt eine gestufte Vorgehensweise, bei der die relevanten Einflußgrößen Schritt für Schritt eingegrenzt werden.

Das Ziel dieser Methode ist es, den Prozeß möglichst genau und ohne komplizierte Nachregelung am Arbeitspunkt zu halten. Deswegen sucht man wenige Hauptfaktoren, die den Prozeß am stärksten beeinflussen. Nach dem Pareto-Prinzip werden 80% der Wirkung von 20% der Faktoren verursacht.

Dabei ist die Methode nach Shainin für den Einsatz in der laufenden Fertigung konzipiert. Nachfolgend werden die wichtigsten Schritte des DOE nach Shainin beschrieben:

Multi-Variations-Karten (Multi-Vari-Charts)

Bei diesem graphischen Verfahren wird eine Typisierung der im Prozeß vorhandenen Streuungseinflüsse ermöglicht. In bestimmten Zeitabständen, an verschiedenen Maschinen, verschiedenen Werkzeugen usw. werden aus dem Prozeß Stichproben entnommen und vermessen. Die graphische Darstellung der Meßwerte erlaubt damit eine Aussage über den Charakter der Streuungen /42/.

Auf diesem Wege läßt sich ablesen, ob Schwankungen innerhalb einer Stichprobe (sog. positionale Variationen), zwischen den Stichproben (sog. zyklische Variationen) bzw. ob sich periodische Schwankungen (zeitliche Variationen) ergeben. Daraus kann man Erkenntnisse über die Auswirkungen der in Frage kommenden Faktoren gewinnen und damit einen Teil von ihnen ausschließen.

Komponententausch (Component Search)

Mit dem Komponententausch erhält man die Möglichkeit, bei montierten

Bauteilen durch Austausch von Schlecht- und Gutteilen die fehlerhafte Komponente und dadurch eine gute und eine schlechte Baugruppe ausgewählt und in einzelne Komponenten demontiert, die anschließend systematisch vertauscht werden.

Tritt dabei eine Veränderung der Zielgröße auf, so bedeutet das einen Hinweis auf einen wichtigen Einflußfaktor. Ergibt sich jedoch keine Änderung, ist das ausgetauschte Bauteil kein Haupteinflußfaktor, muß also nicht weiter berücksichtigt werden /42/.

Paarweiser Vergleich (Paired Comparison)

Eine, dem Komponententausch ähnliche Methode, ist der Paarweise Vergleich. Diese Methode wird dann angewendet, wenn sich die Baugruppen nicht in Einzelteile zerlegen lassen. Dem Prozeß wird eine gleich große Stückzahl von Gut- und Schlechteilen entnommen. Mehrere Paare von je einem guten und einem schlechte Bauteil werden nach den häufigsten Unterschieden überprüft. Damit können die Haupteinflußgrößen identifiziert werden. Dieses Verfahren eignet sich in der Blechteilfertigung eher, als der Komponententausch.

Variablensuche

Eine weitere Einschränkung der Einflußfaktoren (bis jetzt ca 5 bis 20), erreicht man durch die Variablensuche. Sie ist allerdings nur dann durchführbar, wenn bei der Festlegung zweier Stufen für jeden Einflußfaktor bekannt ist, welche Stufe die guten und welche die schlechten Prozeßergebnisse liefert.

Es handelt sich bei der Variablensuche nicht um die Suche nach der optimalen Einstellung, sondern um die Frage, welche Faktoren das Prozeßergebnis am stärksten beeinflussen. Die Prozedur der Variables Search verläuft nach dem folgenden Schema:

Zunächst wird ein Versuch durchgeführt, in dem die Ergebnisse der Einstellung "alle Faktoren auf schlechter Stufe", V_s mit der Einstellung "alle Faktoren auf guter Stufe", V_g , verglichen werden. Ist dabei kein großer Unterschied erkennbar, dann lohnt sich keine weitere Untersuchung.

Nun werden die einzelnen Faktoren getrennt untersucht. Dabei wird ein Faktor auf seine gute und alle anderen Faktoren auf ihre schlechte Stufe eingestellt. Entspricht das Ergebnis des Versuches V_g aus dem Vorversuch, so wird vermutet, daß der hier untersuchte Faktor einen dominanten Einfluß auf den Prozeß hat. Dies wird durch eine Gegenprobe

bestätigt, wobei der Faktor auf seinen Schlechtwert und alle anderen Faktoren auf ihre Gutwerte umgestellt werden.

Im Falle einer Dominanz müßte das Ergebnis dem des Vorlaufs V_s gleichen. Ist diese Voraussetzung erfüllt, dann ist der hier recherchierte Faktor hochdominant (RED X) und die Untersuchung kann abgebrochen werden. Andernfalls wird die gleiche Untersuchung für die anderen Faktoren angewendet.

Ist keine dieser Faktoren dominant, so werden Faktoren, die einen Einfluß erkennen lassen, als schwachdominant (PINK X) bezeichnet. Da die schwachdominanten Einflußgrößen möglicherweise in Form von Wechselwirkungen eine dominante Auswirkung haben, werden sie zusammengefaßt und getestet. Der Test verläuft sehr ähnlich zu den bereits oben beschriebenen, mit dem Unterschied, daß, statt der einzelnen Faktoren, die gesamte Gruppe der zusammengefaßten PINK X auf das gute oder schlechte Niveau eingestellt wird.

Werden hierbei die Ergebnisse des Vorversuchs wiederholt, dann reicht es aus, die schwachdominanten Faktoren auf der guten und die anderen auf der schlechten Seite festzuhalten.

Sind nach dem Schritt der Variablensuche noch zwei bis vier Einflußfaktoren übriggeblieben, so kann mit diesen ein vollfraktioneller Versuch durchgeführt werden. Die Auswertung dieses Versuches geschieht auf die übliche Weise, zum Beispiel mit Hilfe der Varianzanalyse.

Nach der Identifizierung der Hauptfaktoren können mit Hilfe der Streudiagramme die Guteinstellungen bis zum wahren Optimum weiter verbessert werden.

Im anschließenden Prozeßvergleich werden durch die Bestätigungsversuche (Better versus Current) die Qualitätsmerkmale nach und vor der Optimierung gegenübergestellt. Die beiden letzten Schritte des DOE nach Shainin können, als Endlosschleife wiederholt, zur Verbesserung der Qualität wiederholt werden.

Das folgende Bild zeigt noch einmal das DOE nach Shainin im Überblick:

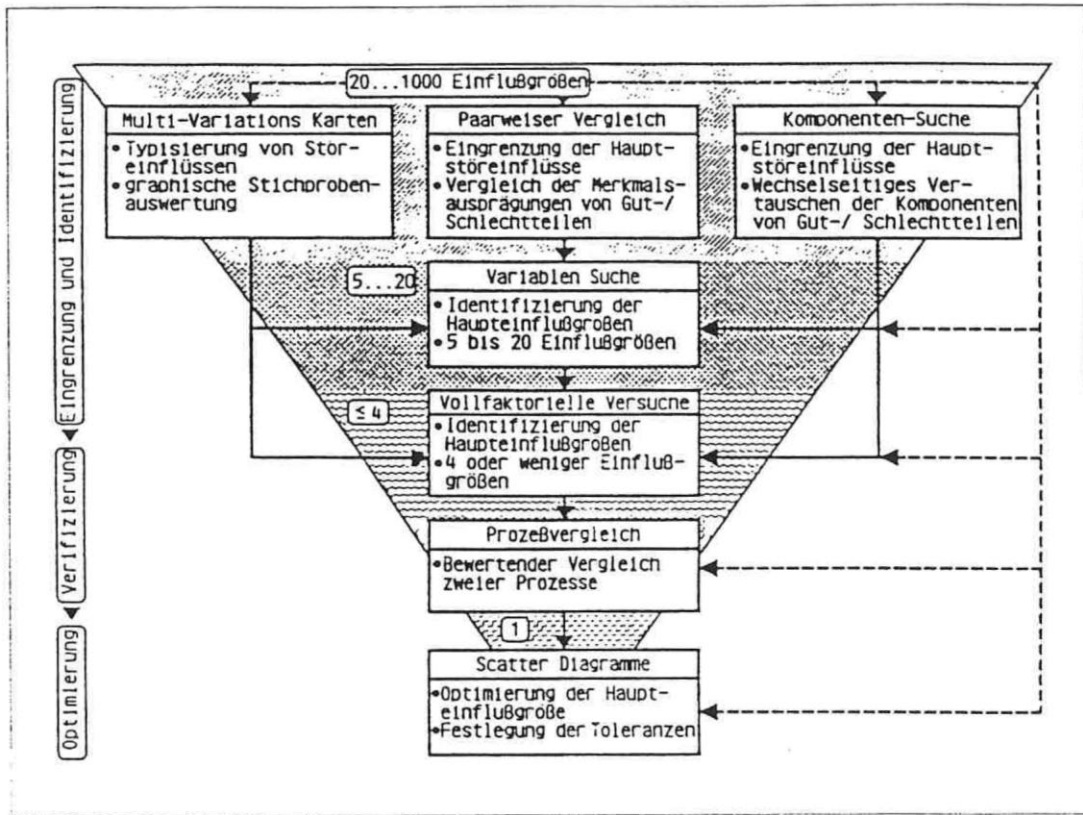


Bild 3.6.5 Komponenten der Versuchsplanung nach Shainin (Bothe)

3.6.6 Versuchsmethodik nach Taguchi

Taguchi geht, im Gegensatz zu klassischen Versuchsplanung, davon aus, daß ein Teil der Kenngrößen eines Prozesses innerhalb gewisser Toleranzen liegen. Dabei ist ein Teil gut, dessen Toleranzen innerhalb dieser Grenzen liegen, schlecht ist es, wenn es außerhalb liegt.

Taguchi bezeichnet jede Abweichung vom Sollwert als Verlust. Seine Verlustfunktion ist proportional zum Quadrat der Differenz zwischen Meß- und Sollwert.

Über diesen Verlustfunktionsansatz können dann die Kosten für die Aufweitung oder die Einengung des Toleranzbereichs genauer betrachtet und optimiert werden. Der wesentliche Beitrag dieser Toleranz-Betrachtungsweise ist die Abkehr von dem Gut-Schlecht-Denken und eine wirtschaftlichere Denkweise in der Konstruktion und Produktion.

Taguchi beabsichtigt mit seinen Verfahren, einen Prozeß kostenneutral und mit möglichst kleinen Schwankungen am Arbeitspunkt zu halten. Produkte sollen ohne Kostenerhöhungen möglichst unempfindlich gegen-

über den Ursachen von Störquellen und Abweichungen geführt werden. Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen für die Versuchsplanung:

- Einfluß- und Störgrößen müssen getrennt voneinander gezielt verändert werden
- die Streuung der Versuchsergebnisse aufgrund der Änderung der Störgrößen ist eine wichtige, zusätzliche Zielgröße, die minimiert werden soll.

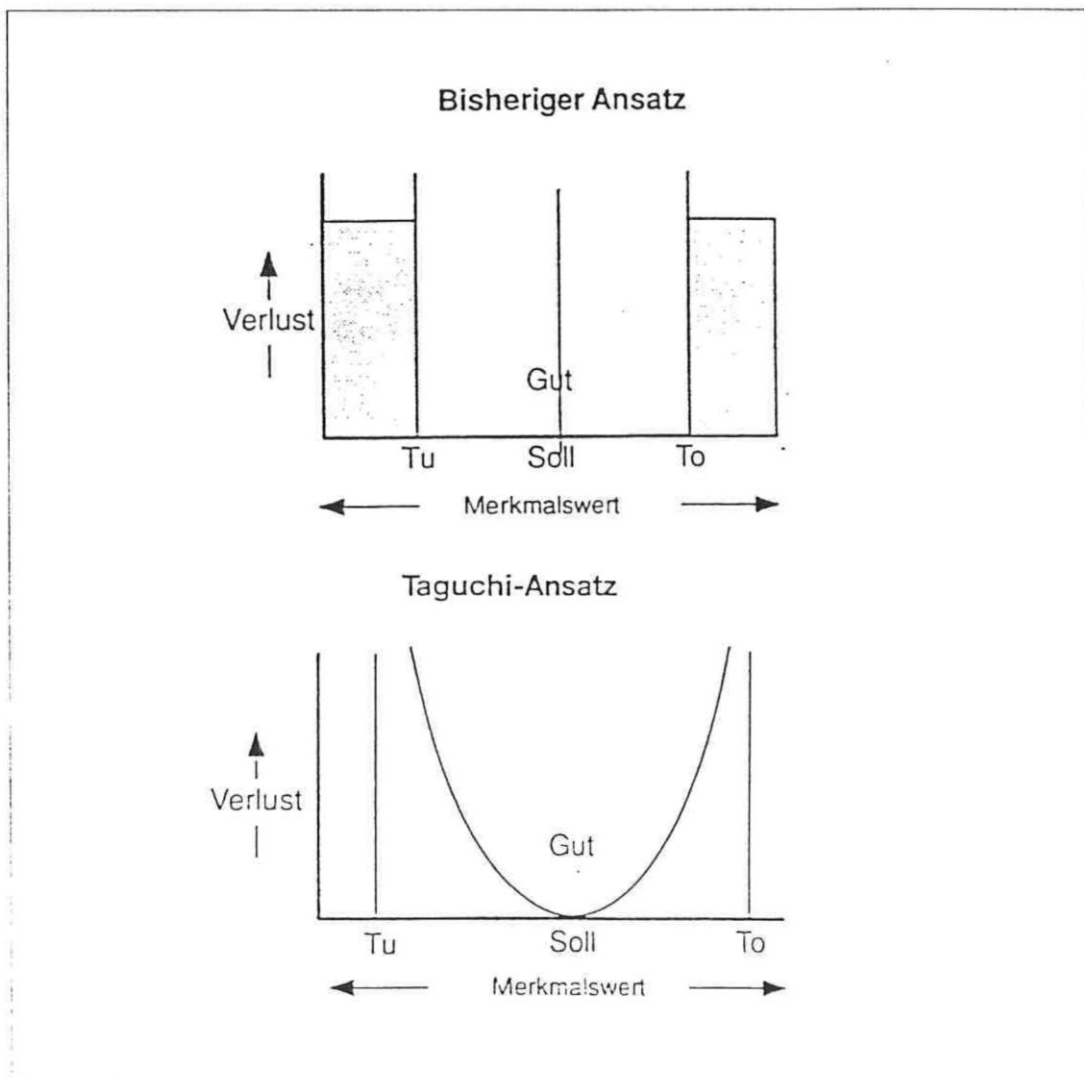


Bild 3.6.6.1 Verlustfunktion nach Taguchi

Die wichtigsten Schritte des Ablaufs eines DOE nach Taguchi beginnen

mit der Bildung eines Teams von Spezialisten aus den verschiedensten Fachgebieten wie der Konstruktion, der Fertigung, dem Kundendienst und der Montage. In Vorbereitung auf die nachfolgenden Schritte wird von diesem Team der Gegenstand der Untersuchung definiert. Parallel erfolgt die Erfassung des Istzustands, der eine Informationsbasis für die nachfolgenden Versuche bildet.

Im nächsten Schritt werden von den Mitarbeitern in einem Brainstorming alle Einflußfaktoren zusammengetragen.

Diese werden dann in Steuerfaktoren und Störfaktoren eingeteilt. In der anschließenden Diskussion werden die wichtigsten Einflußfaktoren herausgesiebt und es wird entschieden, ob zwei Einstellungen pro Faktor (Linearität) ausreichen, oder ob drei Einstellungen notwendig sind.

Um einen geeigneten Versuchsplan für die wichtigsten Einflußgrößen zu erstellen, ist es unerlässlich, die relevanten Wechselwirkungen zu bestimmen. Hierbei schätzt Taguchi die linearen Graphen und die Interaktionstabellen als wirksame Werkzeuge vor /43/.

Für jede Gruppe der Steuer- und Störfaktoren muß ein orthogonales Feld aufgestellt werden, dessen Steuergrößen in einem sogenannten inneren, die Störgrößen in einem äußeren Feld gezielt verändert werden.

Zur Interpretation der Versuchsergebnisse werden von Taguchi die traditionellen Methoden zur Berechnung der Effekte oder der Varianzanalyse vorgegeben, wobei Informationen über die Wirkung eines Faktors auf die Lage und Streuung des Prozesses durch die Bildung eines Signal-to- Noise-Ratio (S/N) erhalten werden. Der S/N-Wert ist das Verhältnis des Quadrats des Mittelwerts zur Varianz. Nachfolgend werden zur Bestimmung der Einflüsse der einzelnen Faktoren auf den S/N-Wert die Varianzanalyse und der F-Test herangezogen, um anschließend die Analyse der Verluste durchzuführen.

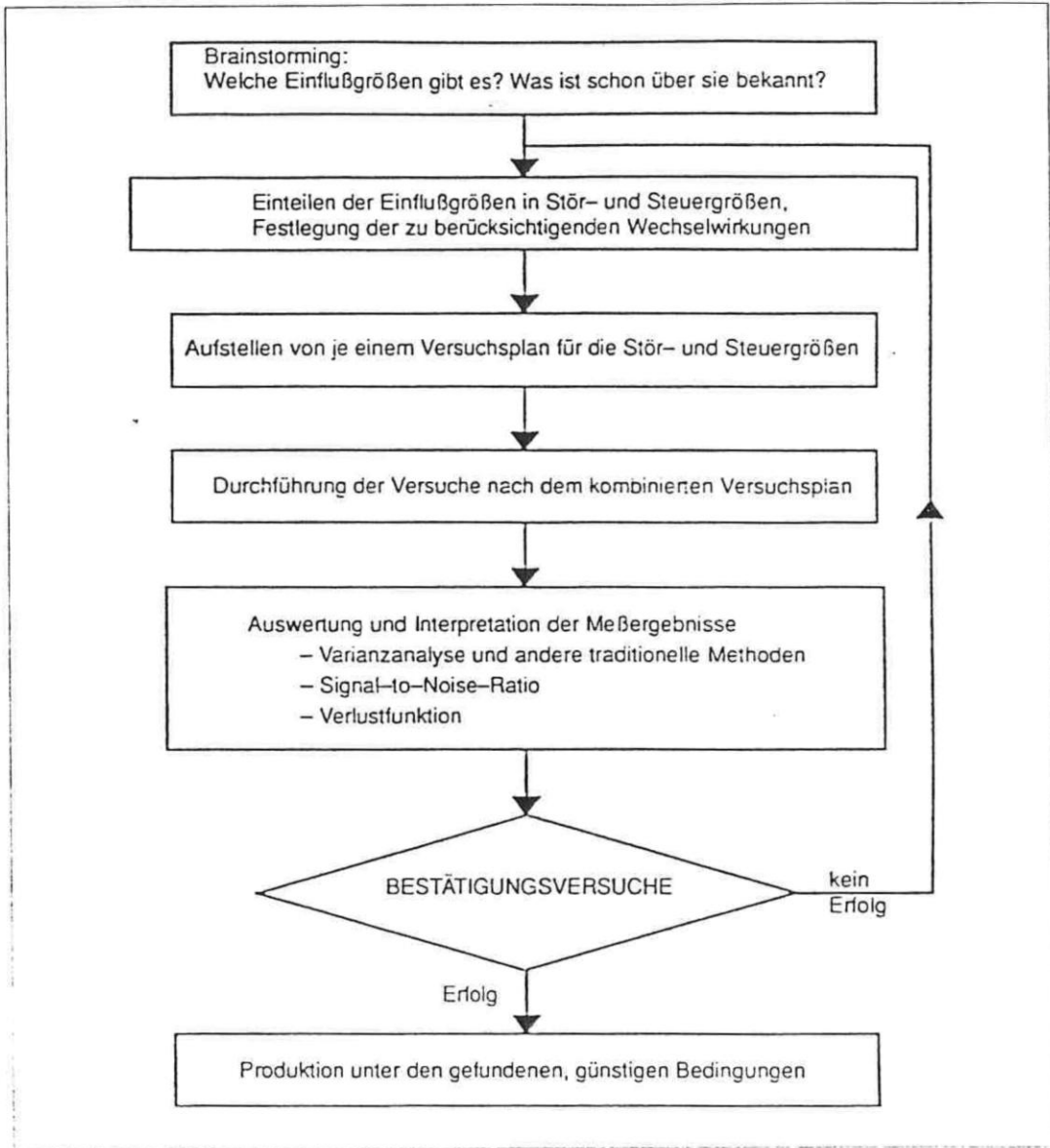


Bild 3.6.6.2 Ablaufplan eines DOE nach Taguchi

Für das DOE nach Taguchi sind gute Vorkenntnisse bezüglich der Faktoren und deren Interaktionen notwendig. Andernfalls werden die Resultate der Untersuchungen durch Vermengungen der Effekte unbrauchbar. Ferner werden durch die S/N-Analyse oft auch nur reine Scheineffekte angezeigt /44/45/.

3.6.7 DOE und Qualitätsdatenerfassung

Für die Versuchsplanung eines Gesenkbiegeprozesses werden als signifikante Einflußgrößen die Prozeßgrößen betrachtet.

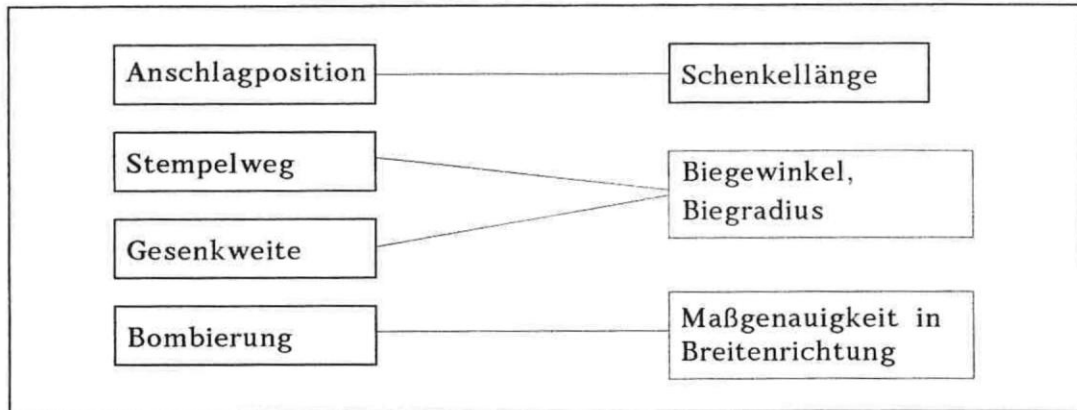


Bild 3.6.7 Prozeßgrößen und Zielgrößen beim Gesenkbiegen

Diese sind die Anschlagposition, der Stempelweg und die Gesenkweite. Ihre Analyse ergibt die Art des Einflusses, den sie auf die Zielgrößen Schenkellänge und Biegewinkel haben.

Eine Unterscheidung der Prozeßgrößen nach ihrem Einfluß auf die Prozeßlage und die Prozeßstreuung ist nicht möglich, da alle einen signifikanten Einfluß auf das Biegeergebnis haben. Es lassen sich mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung zwar Einstellparameter finden, die eine Prozeßstreuung bedingen, ob sich der Einsatz des DOE allerdings wirtschaftlich vertreten läßt, muß je nach Prozeß entschieden werden.

Die zur Qualitätsverbesserung meßbaren Größen beim Schwenkbiegeprozeß sind:

- Biegewinkel
- Biegeradius
- Biegewinkelverlauf
- Biegeradienverlauf
- Oberfläche
- Schenkellänge
- Parallelität/Orthogonalität der Biegeschenkel bzw. -kanten

Die Durchführung einer DOE ist nicht für alle, beim Schwenkbiegen möglichen Einstellparameter sinnvoll. Darunter fallen der Schwenkwinkel und die Anschlagposition. Der Einfluß der Absenkung auf die Qua-

3. Qualitätsmanagment und Qualitätsdatenerfassung

lität des Biegeteils kann mit Hilfe der DOE einfach ermittelt werden. Beim Einsatz von verstellbaren Bombierungen kann die optimale Einstellung mit Hilfe des DOE während der Produktion erfolgen /42/.

4. Entwicklung eines Qualitätsdatenerfassungssystems

4.1 Einleitung

Für das Qualitätsdatenerfassungssystem soll eine Benutzeroberfläche erstellt werden, die dem Bediener sowohl mögliche Fehler und Fehlerabhilfemöglichkeiten darstellt, als ihn auch zur Eingabe selbst entdeckter, vorher unbekannter Verbesserungen auffordert. Die Eingabemöglichkeit wird so gestaltet, daß Begriffe verwendet werden, die das System kennt, dem Benutzer aber auch erlaubt, Fehler und Korrekturmaßnahmen in "eigenen Worten" zu beschreiben. Dabei wird dem Maschinenbediener nicht zwanghaft vorgeschrieben, eine Eingabe zu machen.

Es soll die Fehlerbestimmung durch automatische Meßdatenermittlung eingebunden werden. Hierbei handelt es sich um die Erfassung von Qualitätsmerkmalen durch Sensorik und deren Übermittlung an eine Datenbank.

Aus- und Eingabe allgemeiner Daten wie Fertigungsunterlagen, Prüfvorschriften werden in das System eingebunden.

Besonderes wichtig ist die Benutzerfreundlichkeit des Systems. Allein die hohe Akzeptanz durch den Maschinenbediener sichert den maximalen Datenfluß, der für ein gutes Funktionieren des Systems notwendig ist.

4.2 Eigenschaften des Qualitätsdatenerfassungssystems

4.2.1 Einbindung des Qualitätsinformationssystems

Informationen der verschiedenen Terminals (z.B. Schwenkbiegemaschine oder Qualitätskontrolle) sollen durch geeignete Verfahren (Expertensysteme, neuronale Netze) aufgearbeitet und in einer Datenbank abgelegt werden.

Dadurch entsteht ein wachsender "Erfahrungsschatz", der für Qualitätssicherungsverfahren oder andere qualitätsverbessernde Maßnahmen unterschiedlicher Abteilungen genutzt werden kann. So sollen zum Beispiel die an einer Schwenkbiegemaschine während eines Biegeprozesses automatisch erfaßten Daten und die durch den Maschinenbediener eingegebenen Bemerkungen und Verbesserungsvorschläge die Grundlagen für Maßnahmen der präventiven Qualitätssicherung, wie die Konstruktions-FMEA, liefern.

4.2.2 Einbindung von Qualitätssicherungsverfahren

Die durch das Qualitätsdatenerfassungssystem gesammelten und durch das Qualitätsinformationssystem verarbeiteten Daten werden genutzt, um in der Blechumformung sinnvolle Qualitätssicherungsverfahren umzusetzen.

Dabei handelt es sich hauptsächlich um die Verfahren FMEA, DOE und SPC. (s. Kapitel 3.2)

4.2.3 Anforderungen an Qualitätsregelkreise zur Rückführung von Informationen

In der Qualitätsprüfung benutzen rechnerunterstützte Qualitätsmanagementsysteme Regelkreise für die Prüfaufwandsteuerung und die statistische Prozeßlenkung.

Eine Integration rechnerunterstützter Qualitätsmanagementsysteme in PPS-Umgebungen ist bereits realisiert, wobei die Kopplung zur CAD-Technik in ersten Prototypen umgesetzt ist /67/68/.

Produktbezogene Aussagen können statistisch ausgewertet werden. Der Geltungsbereich dieser Aussagen ist für eine direkte Nutzung in der Produktentwicklung zu begrenzt, da sie sich auf ein Merkmal eines Produktes in einer Prozeßsituation beziehen. Auf der Basis der erfaßten

Aussagen können keine allgemeinen Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden.

4.2.4 Aufgaben der direkten Informationsrückführung

Es stellt sich die Aufgabe, QM-Methoden untereinander in einem integrierten Regelungssystem zu konfigurieren, damit an den Ergebnissen in folgenden Prozessen angeknüpft werden kann.

Alle Bereiche eines Unternehmens sind mögliche Quellen und Ziele der Informationsrückführung. Die dort umgesetzten Informationen, ausgeführten Aktivitäten und genutzten informationstechnischen Systeme beeinflussen die Rückführungsregelkreise /21/.

Ein einfaches Modell für einen Regelkreis beschreibt die folgende Grafik.

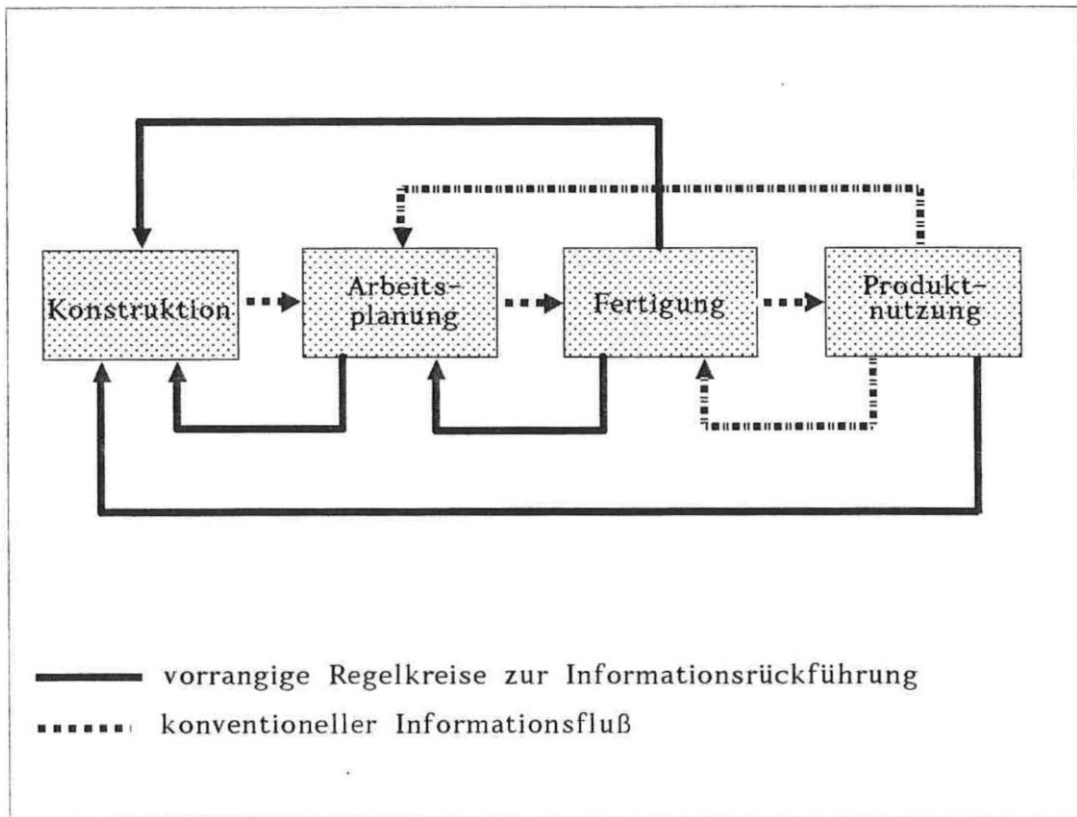


Bild 4.2.4 Beispiel für einen Rückführungsregelkreis

Die fertigungsgerechte Produktion erfordert Rückmeldungen aus der Arbeitsplanung. Dabei wird davon ausgegangen, daß in der Arbeitsplanung sämtliche Erfahrungen der Fertigung bekannt sind. Rückmeldungen aus der Fertigung in die Konstruktion sollen über die Arbeitsplanung geleitet werden, damit sie als Bindeglied zwischen Konstruktion und Fertigung ihrer Position als prozeßorientierter Erfahrungsträger gerecht wird und auf sämtliche Vorkommnisse in der Fertigung bei Bedarf direkt reagieren kann.

Rückmeldungen aus der Produktnutzung in den Betrieb werden über die Konstruktion abgewickelt, da sie über alle produktrelevanten Daten informiert sein muß, um die Anforderungen an das Produkt ständig aktualisieren zu können.

Eine bleibende Korrektur aufgetretener Probleme wird dann erreicht, wenn die Entwicklungsergebnisse im Hinblick auf die Vermeidung der Ursachen aufgetretener Probleme angepaßt und die nachfolgenden Bereiche darüber unterrichtet werden.

Korrekturen müssen alle, auch widersprüchliche Anforderungen berücksichtigen. Oft korrigierte Entwicklungsergebnisse stellen ein iterativ erreichtes Optimum bezüglich der Produkthanforderungen dar /21/.

4.3 Entwicklung einer Anforderungsliste

Ziel der Anforderungsliste ist es, alle für das Konzept wichtigen Punkte zu sammeln und zu bewerten. Dabei wird sowohl die Einbindung in ein bestehendes Konzept (Qualitätsmanagementsystem mit Expertensystem, Datenbank, etc.) berücksichtigt, als auch auf ergonomische Anforderungen, Hardwarevoraussetzungen, bestehende Normen und Richtlinien u.ä. eingegangen.

Hierzu werden, aufbauend auf einer allgemeinen Betrachtung von Anforderungen an Informationssysteme, Forderungen bezüglich des Informations- und Funktionsumfangs dargestellt. Anschließend werden Anforderungen hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit und der Erweiterbarkeit sowie eine Einordnung des Informationssystems vorgenommen.

4.3.1 Rahmenbedingungen für den Aufbau

"Ein Informationsrückführungssystem ist konzeptionell Teil eines gesamten Qualitätswissenssystems und erfüllt im Rahmen des integrierten Qualitätsmanagements eine Teilaufgabe der phasenübergreifenden Quali-

tätsregelung.

Es soll direkt als ein Teil der technischen Auftragsabwicklung zur Entwicklungsqualität beitragen. Eine "stand alone"-Anwendung des Systems ist deshalb nicht zweckmäßig /21/.

Damit ergibt sich die Forderung, die Komponenten zur Informationsrückführung, wie das hier entwickelte System zur Erfassung und Rückführung von Qualitätsdaten am Arbeitsplatz des freien Schwenk- und Gesenkbiegens, in ein Gesamtkonzept zu integrieren.

Die laufende Erfassung von Qualitätsdaten im Fertigungsbereich der Feinblechumformung wird einmal definiert und dann laufend, anhand der verarbeiteten Daten korrigiert und optimiert. Für diese Aufgaben existieren, wie bereits zuvor verdeutlicht, schon einige Lösungsansätze in Form kompletter Regelsysteme wie SPC.

Diese aufgabenangepaßten Systeme stellen umfangreiche Datenbestände mit festgelegtem Format bereit. Nach Aufbereitung ist über eine Datenbank die Rückführung in andere Bereiche, beispielsweise in den Entwicklungsbereich möglich.

Die Rückführung über wichtige oder unerwünschte Ereignisse (z.B.: Auftreten eines Fehlers, Verbesserungsmaßnahme) sollte möglichst unmittelbar erfolgen. Dabei ist es besonders bei Ereignissen, die ein schnelles Eingreifen erfordern, wichtig, daß zur Erfassung eine einfache Beschreibung des Sachverhalts ausreicht. Die weitere Spezifizierung des Sachverhalts durch den Bediener kann dann zu gegebener Zeit erfolgen.

4.3.2 Ergonomische Anforderungen

Die ergonomische Gestaltung der Benutzeroberfläche für die Informationserfassung auf der Produktionsebene besitzt eine herausragende Stellung, da durch die Erfassung der Information die Basis erzeugt wird, auf der alle weiteren Funktionen arbeiten. Die hier erzielte Ergonomie wirkt sich also direkt auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems aus.

Die Akzeptanz des Informationssystems ist ein wesentlicher Einflußfaktor für das Funktionieren des Konzeptes. Durch ergonomische Gestaltung wird diese entscheidend beeinflußt /48/.

Die Benutzeroberfläche muß sich an vorhandenen Lösungen und Empfehlungen orientieren, um ein einheitliches, "gewohntes" Erscheinungsbild zu gewährleisten.

Dadurch werden Belastungen des Werkers durch Interaktionsprobleme minimiert. Die wesentlichen Richtlinien weisen große Gemeinsamkeiten auf /49/50/51/52/53/. Zusätzliche Empfehlungen wurden für spezielle

Anwendungsgebiete entwickelt und detaillieren die allgemeinen Richtlinien weiter /54/.

Die Richtlinien sollen entsprechend ihres Geltungsbereichs bei der Entwicklung des Systems zur Informationsrückführung beachtet werden.

Darauf aufbauend müssen für diese Aufgaben weitere Vereinbarungen für einen standardisierten Entwurf üblicher Dialogabläufe getroffen werden.

Oft liegen vorrangig textuelle Beschreibungen vor, die bei entsprechender Länge unübersichtlich werden. Deshalb sollten Rückführungsaussagen durch strukturierte, leicht erfaßbare graphische Symbole unterstützt werden.

Verschiedenste Symbole sind in Normen und Standards definiert /56/57/. Der Einsatz der Symboltechnik erhöht die Verständlichkeit im System.

Die Einbindung von schon bekannten Formblättern wie Zeichnungen, Stücklisten, Arbeitsplänen oder Werkzeuglisten ist anzustreben. Sie erleichtert dem Benutzer die Identifikation mit und die Einarbeitung in das System.

Die Gestaltung des Systems soll so gestaltet werden, daß Arbeitswissenschaftliche und soziotechnische Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Die Anwendung muß eine "Herausforderung" für den Mitarbeiter werden.

"Ein Zustand des Interesses und Engagements" in der Bearbeitung notwendiger Aufgaben wird als "Aufgabenorientierung" bezeichnet /58/. Sie wird durch die Merkmale

- Ganzheitlichkeit
- Anforderungsvielfalt
- Möglichkeit der sozialen Interaktion
- Autonomie
- Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten

gefördert. Der Mitarbeiter muß den Fertigungsprozeß von der Konstruktion bis zum Verkauf überblicken und seine Ideen einbringen können. Ein entsprechender Tätigkeitsspielraum muß dem Mitarbeiter eingeräumt und bewußt gemacht werden, seine Autonomie darf nicht unnötig eingeschränkt werden. Restriktive Vorgaben eines "optimalen" Arbeitsablaufs führt in vielen Fällen zu ineffizienter Arbeitsweise. So zeigen empirische Untersuchungen, daß der "one best way" in Frage zu stellen ist /61/62/.

Zur Einarbeitung in das System ist der Arbeiter durch entsprechende

Fortbildung zu qualifizieren. Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten bieten sich dem Mitarbeiter, wenn er sein fertigungsbezogenes Erfahrungswissen auch in anderen Bereichen wie bei der Entwicklungsbewertung, bei Fehleranalysen oder bei der Definition von Entwicklungsanforderungen aus Fertigungssicht einbringen kann.

4.3.3 Allgemeine Anforderungen:

- Abrufmöglichkeit von Informationen anderer Abteilungen
- On-Line-Kommunikationsmöglichkeit mit anderen Abteilungen
- Akzeptanz und Motivation des Bedieners sichern durch einfache Bedienung, kurze Einarbeitungszeit und durch ausführliche Hilfestellungen
- übersichtliche Gestaltung durch eine graphische Benutzeroberfläche mit Menüsystem
- Gestaltung möglichst nach DIN/ISO, um Einheitlichkeit zu gewährleisten
- flexible Einsetzbarkeit durch Parametrisierungsmöglichkeit
- Der Bediener hat nur eine seiner Funktion entsprechende Zugriffsmöglichkeit (Informationsfilter)
- Kompatibilität zu Netzwerken, Expertensystem und Datenbanken
- Eingabemöglichkeiten (Tastatur, Maus)
- Ausgabemöglichkeiten (Bildschirm, Drucker)
- Zugriffssicherung (Passwort)
- sinnvolle Utilities (Notizbuch, Taschenrechner, Formelsammlung)

4.3.4 Spezielle Anforderungen:

- Erfassen und Darstellen der Grunddaten (Bediener, Maschine, Uhrzeit, Datum, Werkzeug, Halbzeug, Endprodukt)
- Darstellungsmöglichkeit von Auftrag, Fertigungsunterlagen, QS-Daten aus der Datenbank
- Menü speziell auf den Arbeitsplatz zugeschnitten
- Möglichkeit der Fehlerbeschreibung in "eigenen Worten"
- Verarbeitungsmöglichkeit "unscharfer Angaben" (Expertensystem)
- Bewertungs- und Gewichtungsfunktion für entdeckte Fehler durch den Benutzer

- Entscheidungsspielraum für den Bediener (z.B.: Korrektur von Fehlinformationen)
- Verknüpfung von Maschine, Meßplatz, Datenbank, etc.

4.4.1 Flußdiagramm zur Beschreibung der Kommunikation zwischen Benutzer und Qualitätsmanagementsystem

Anhand eines Flußdiagramms wird hier der Ablauf der Kommunikation des Bedieners mit dem System dargestellt. Dabei wird die Einbindung des Hauptteils Fehlerbehandlung (Qualitätsdatenerfassung im Sinne Taguchis: Jede Abweichung vom Sollwert stellt einen Fehler dar), in den Gesamt Ablauf der Herstellung eines Biegeteils verdeutlicht. Die Schnittstellen zu Qualitätssicherungsverfahren werden beschrieben.

4.4.2 Erläuterung der Programmpunkte

Start

Der Bediener startet das Programm. Dieses beginnt mit dem:

Hauptmenü

Das Hauptmenü hat die Aufgabe, Grunddaten zu erfassen und darzustellen.

Dazu werden alle, für den Bediener wichtigen Daten aus der Datenbank abgerufen (z.B.: Auftrag, Zeiten) und dargestellt.

Der Anwender wird aufgefordert, für die Auftragsausführung wichtige Daten einzugeben. (z.B.: Name des Bedieners, oder Auftrag kann nicht ausgeführt werden, weil...). Vom Hauptmenü aus kann der Unterpunkt: "Darstellen der Fertigteilzeichnung aufgerufen werden.

Fertigungsunterlagen

Hier werden alle für die Fertigung des Biegeteils wichtigen Daten aus der Datenbank abgerufen und dem Bediener dargestellt.

Dazu gehören z.B.: das benötigte Rohmaterial, Werkzeug oder Daten über Fertigungszeiten.

Werden weitere Daten benötigt, kann der Unterpunkt "Fertigungsablauf darstellen" angewählt werden

Fertigungsablauf darstellen

Hier werden ausführlichere Hinweise auf den Fertigungsablauf gegeben. Bei den letzten beiden Punkten ist es wichtig, eine interaktive Kommunikation mit der Datenbank zu erlauben. Der Bediener soll die Möglichkeit haben, Fragen oder Unklarheiten in der Datenbank abzulegen, wo sie dann z.B. von der Konstruktionsabteilung abgerufen werden können und somit eine Verbesserung der Unterlagen durchgeführt werden kann.

Der Unterpunkt "Fertigungsablauf darstellen" führt, ebenso wie der Menüpunkt "Darstellen der Fertigteilzeichnung" zum Schwerpunkt dieser Arbeit, der Fehlererfassung und -erkennung im Rahmen des Qualitätsmanagements.

Fehlererkennung

Hier werden dem Anwender mögliche Fehler dargestellt. Dazu werden aus dem "Erfahrungsschatz" der Datenbank bei dem gleichen oder ähnlichen Prozessen aufgetretene Fehler übermittelt. Dadurch sollen Fehler bereits vor der Produktion entdeckt werden (z.B. mit Hilfe einer FMEA) Ebenfalls ist die Übermittlung noch nicht gespeicherter Fehler, die der Bediener entdeckt hat, an die Datenbank zu ermöglichen.

Ist kein möglicher Fehler entdeckt worden, springt das Programm zum Menüpunkt Fertigung. An die Fehlererkennung schließt sich die Fehleranalyse an.

Fehleranalyse

In der Fehleranalyse werden die entdeckten Fehler in ein vorgeschriebenes Schema eingeordnet. Ein festes Schema erleichtert die systematische Speicherung in der Datenbank. Weiterhin wird in diesem Menüpunkt eine Bewertung des Fehlers durch den Bediener vorgenommen. Anschließend an die Fehleranalyse erreicht der Bediener den Punkt Fehlerabhilfe.

Fehlerabhilfe

In diesem Menüpunkt wird der Benutzer aufgefordert, seine Vorschläge zur Fehlerabhilfe in das System einzugeben. Dabei wird er auch hier von der Datenbank unterstützt. Die Eingabemaske soll es dem Bediener ermöglichen, das Problem auch mit eigenen Worten zu beschreiben.

Die Fehlerabhilfe beinhaltet nicht nur die Beseitigung von Fehlern, sondern bedeutet auch Prozeßveränderungen und anderes.

Die gemachten Vorschläge werden ausgewertet und in der Datenbank abgelegt. Bevor ein Verbesserungsvorschlag in die Fertigungsunterlagen aufgenommen wird, muß er den Entscheidungsträgern anderer betroffener Abteilungen vorgelegt werden. Der Bediener erhält dann die modifizierten Fertigungsunterlagen und erreicht den Unterpunkt Fertigung.

Fertigung

Dem Anwender werden hier, wie schon erwähnt, die verbesserten Fertigungsunterlagen dargestellt. Anhand dieser Daten wird die Produktion durchgeführt. Auch hier werden wichtige Informationen an die Datenbank übermittelt.

So kann z.B. der Werkzeugverschleiß überwacht werden und dem Bediener bei bei erreichter Verschleißgrenze eine Warnmeldung übermittelt werden.

Wird während der Produktion ein Fehler entdeckt, besteht die Möglichkeit, den Programmpunkt "Fehleranalyse" anzuwählen und Verbesserungen vorzunehmen und zu dokumentieren.

Nach der Fertigung schließt sich mit dem Menüpunkt "Prüfen" die Qualitätsprüfung an.

Prüfen

Die Prüfung des hergestellten Schwenk- oder Gesenkbiegeteils erfolgt anhand eines Prüfplans. Dieser kann anhand der gesammelten Daten das Ergebnis einer statistischen Prozeßkontrolle (Versuchsplanung) sein. Dadurch wird es vermieden, jedes gefertigte Teil prüfen zu müssen. Voraussetzung ist auch hier die Kommunikationsmöglichkeit zwischen Arbeitsplatz und Datenbank (hier SPC-Programm) und umgekehrt.

Tritt ein Fehler auf, verzweigt das Programm zum Menüpunkt "Fehleranalyse".

Auftrag abgeschlossen

Nach Beendigung des Auftrags erreicht das Programm den Menüpunkt "Auftrag abgeschlossen". Für den nächsten Auftrag schaltet das Programm zurück zum Hauptmenü. Alternativ kann hier das Programm beendet werden.

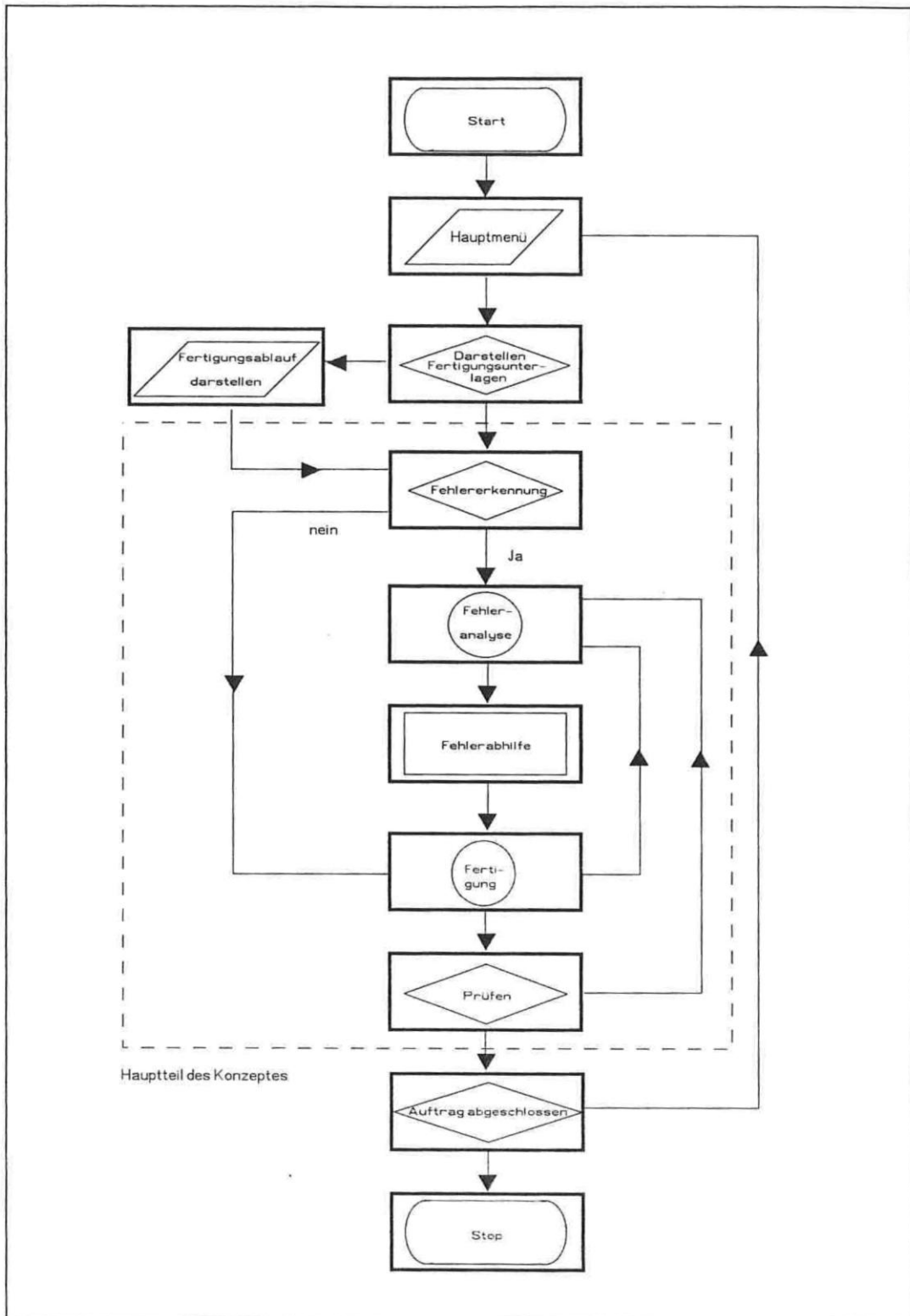


Bild 4.4 Flußdiagramm

4.5 System und Systemgrenzen des lokalen Qualitätsdatenerfassungssystems

Anhand einer Funktionsstruktur wird hier das System vorgestellt. Sie beschreibt die Systemgrenzen, die Anbindung an ein CA-Konzept, den Informationsfluß und den Materialfluß im System.

4.5.1 Abgrenzung des Systems

Die Materialfluß-Systemgrenze wird durch das angelieferte Halbzeug am Anfang, sowie durch das Fertigteil am Ende des Prozesses gebildet.

Das Informationsfluß-System wird durch die Schnittstelle des lokalen Rechners mit dem Leitrechner bzw. der Datenbank begrenzt.

Das System ist prozeßorientiert aufgebaut. Der Zustand des Werkstücks wird dabei als Halbzeug, während der Fertigung und als Fertigteil beschrieben. Jeder dieser drei Zustände wird begleitet durch die Prozedur Messen/Prüfen. Obwohl dies oft nicht notwendig ist, beispielsweise kann eine Qualitätsprüfung des Halbzeugs durch vorherige qualitätssichernde Maßnahmen überflüssig werden, soll es in diesem System enthalten sein, um dem Benutzer alle Optionen offen zu halten.

Wichtig ist die Festlegung der an den Systemgrenzen übergebenen Datenart und -menge. Dabei wird hier nicht auf Schnittstellen und Kommunikationsformate eingegangen. Mittlerweile haben sich Standardformate für die Informationsübermittlung etabliert.

Es ergibt sich die Fragestellung, in wieweit Daten, die der Benutzer in sein Terminal eingegeben hat, oder die durch automatische Messungen ermittelt wurden, durch den Arbeitsplatzrechner aufgearbeitet, ausgewertet, gefiltert oder gespeichert werden sollen.

Die eine Möglichkeit ist es, den Rechner am Arbeitsplatz nur für das CAM-System und die Darstellung des maschinennahen QS-Systems zu nutzen. Dadurch wird einerseits eine Überlastung des Systems vermieden und es wird gewährleistet, das alle Daten das zentrale System erreichen. Da hier auch die Daten von anderen peripheren Systemen auflaufen, bietet sich die Auswertung des Materials durch den Leitrechner an.

Im Gegensatz zur zentralen Datenbank ermöglicht das Arbeiten mit lokalen Datenbanken die Strukturierung autarker Systeme, die, z.B. bei einem Ausfall des Leitrechners, das Fortführen der Produktion ermöglichen.

4.5.2 Beschreibung des Systems

4.5.2.1 Systemunterpunkt Halbzeug

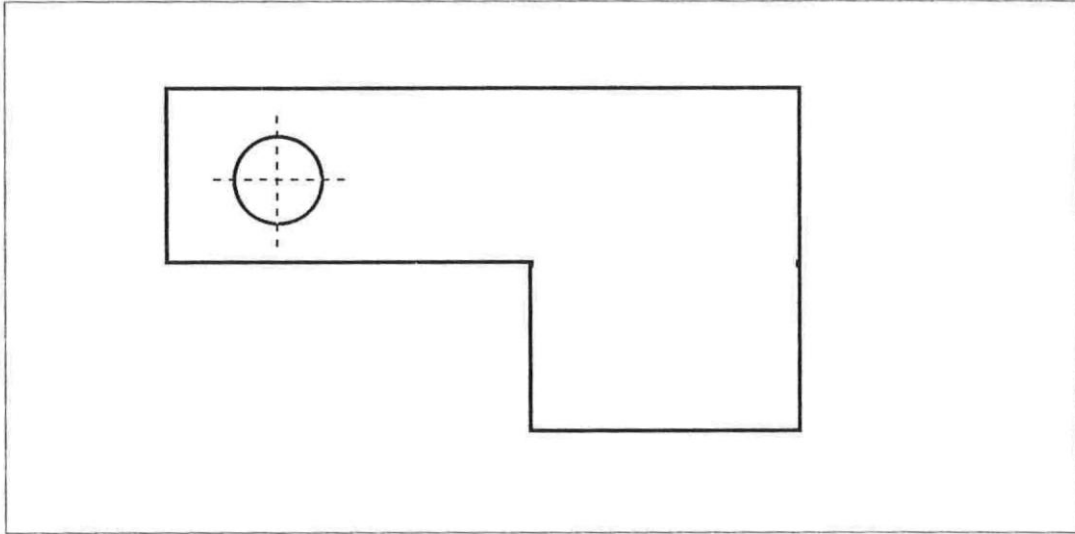


Bild 4.5.2.1 Systemunterpunkt Halbzeug

Der Fertigungsprozeß beginnt üblicherweise mit der Erteilung des Auftrags an den Werker. Gleichzeitig erfolgt die Anlieferung des Halbzeugs.

Der Benutzer erhält aus der Datenbank Informationen über das angelieferte Halbzeug. Diese sollen ihn z.B. auf einen Wechsel des Zulieferers oder auf in Verbindung mit einem ähnlichen Prozeß aufgetretene Probleme aufmerksam machen. Dadurch erhält er wichtige Hinweise für die Prüfung des gelieferten Materials.

Andererseits ist es seine Aufgabe, die von ihm entdeckten Fehler, aber auch Verbesserungsvorschläge in das System einzugeben.

Diese, vom Benutzer eingegebenen Daten werden, wie alle anderen auch, durch den Leitreechner, z.B. mit Hilfe eines Expertensystem ausgewertet und in der Datenbank abgelegt.

4.5.2.2 Systemunterpunkt Fertigungsprozeß

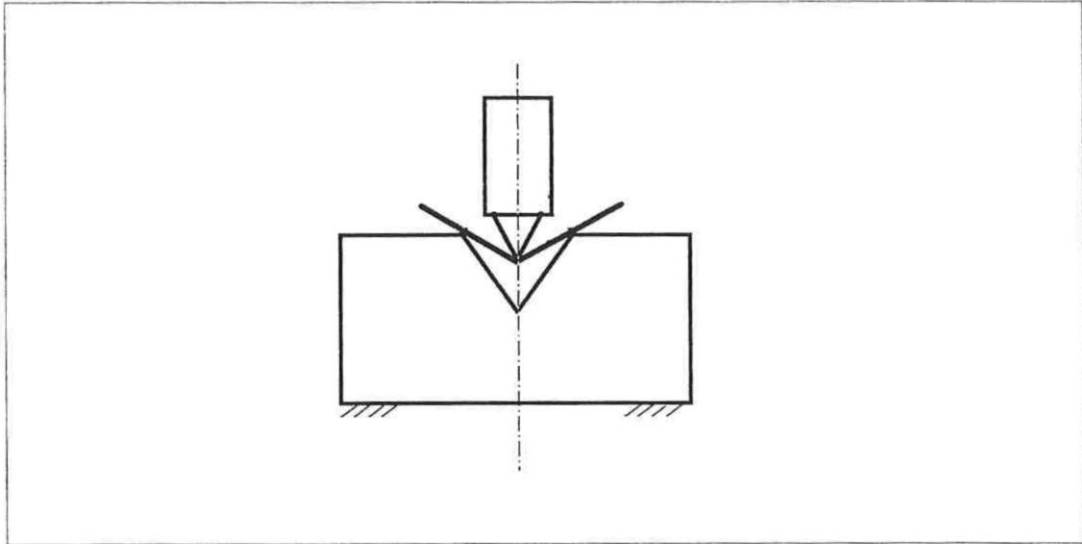


Bild 4.5.2.2 Systemunterpunkt Fertigungsprozeß

Im zweiten Produktionsschritt erhält der Maschinenbediener Daten über die, für den Auftrag nötige Aufrüstung der Schwenk- oder Gesenkbiegemaschine. Dabei werden ihm Informationen aus dem "Erfahrungsschatz" der Datenbank angeboten. Diese beinhalten Daten über die zu verwendenden Werkzeuge, die einzelnen Biegewinkel, die Biegefolge sowie für die Qualitätssicherung wichtige Hinweise auf z.B. bei ähnlichen Prozessen aufgetretenen Fehler und Verschleißgrenzen der Werkzeuge.

Dem Benutzer wird angeboten, eigene Vorschläge für den Produktionsprozeß zu machen. Damit ist ein interaktiver Erfahrungsaustausch gewährleistet, durch den eine Optimierung des Prozesses erreicht wird. Das gleiche gilt für andere qualitätbeeinflussende Daten.

4.5.2.3 Systemunterpunkt Fertigteilprüfung

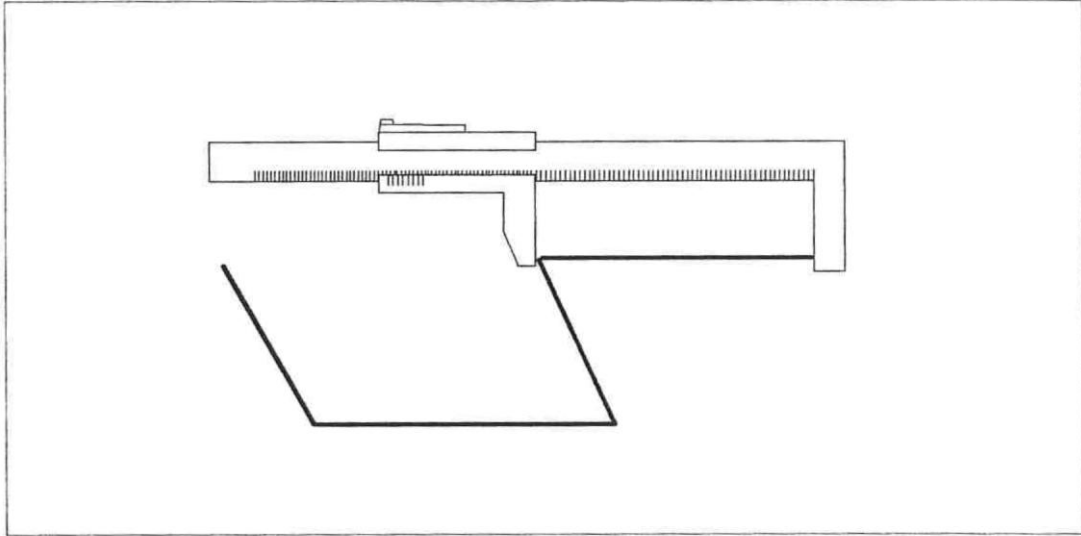


Bild 4.5.2.3 Systemunterpunkt Fertigteilprüfung

Anschließend folgt die Bewertung des Fertigteils. Auch hier erhält der Werker Meß- und Prüfanweisungen, die beispielsweise anhand einer SPC aufgestellt worden sind. In diesem Unterpunkt wird der Benutzer ebenfalls aufgefordert, eigene Vorschläge für qualitätsverbessernde Maßnahmen zu machen.

Mit der Prüfung des Fertigteils wird die Systemgrenze erreicht. Sinnvoll ist eine einheitliche Weiterführung der Systematik in anderen Abteilungen.

Anhand der folgenden Darstellung wird die Funktionsstruktur noch einmal verdeutlicht.

4.6 Qualitätsfehlerbehandlung an Biegeteilen

4.6.1 Qualitätsfehler an Biegeteilen

In der Datenbank sollten heute bekannte Fehler, Fehlerursachen und -ab-
hilfemöglichkeiten bereits enthalten sein. Dies sind allgemeine Aussagen,
die durch spezielle Aussagen im Laufe der Zeit ergänzt werden.

Zur Ermittlung relevanter Bauteilfehler bei Biegeprozessen wurden viele
Feldstudien durchgeführt, deren Ergebnisse auch auf die speziellen Ver-
fahren des freien Schwenk- und Gesenkbiegens angewendet werden kön-
nen.

So erzielte F. Maier durch Untersuchungen in verschiedenen Branchen
relativ neutrale Aussagen über Qualitätsfehler an Biegeteilen. Dabei er-
faßte er die Bereiche Fahrzeugtechnik, Schaltgeräte, Feinwerktechnik,
Anlagenbau, Möbeltechnik und Medizingeräte /22/.

Für den Aufbau einer Prozeßregelung relevante Fehler sind in der fol-
genden Liste aufgeführt:

- Winkelabweichungen
- Längenabweichungen
- Biegeradiusabweichungen
- Ribbildung
- mangelnde Oberflächenqualität
- Deformationen im Biegezonbereich
- Deformationen in sonstigen Bereichen

Anzumerken ist hier, daß es das Ziel des modernen Qualitätsmanage-
ments ist, Fehler in einem möglichst frühen Stadium, z.B. in der Kon-
struktion zu verhindern. Dies wird durch das in der Datenbank inte-
grierte und laufend, beispielsweise durch das Expertenwissen am Biege-
arbeitsplatz erweiterte, Prozeßwissen erreicht. Trotzdem werden die
oben erwähnten Fehler immer wieder auftreten.

Verfahrensmängel, die in der Konstruktions- und Arbeitsplanungsebene
liegen, können im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden.
Hier sei auf weiterführende Literatur verwiesen /22/58/59/60/.

Das folgende Bild zeigt schematisch Beispiele der wichtigsten Fehler an
Biegeteilen.

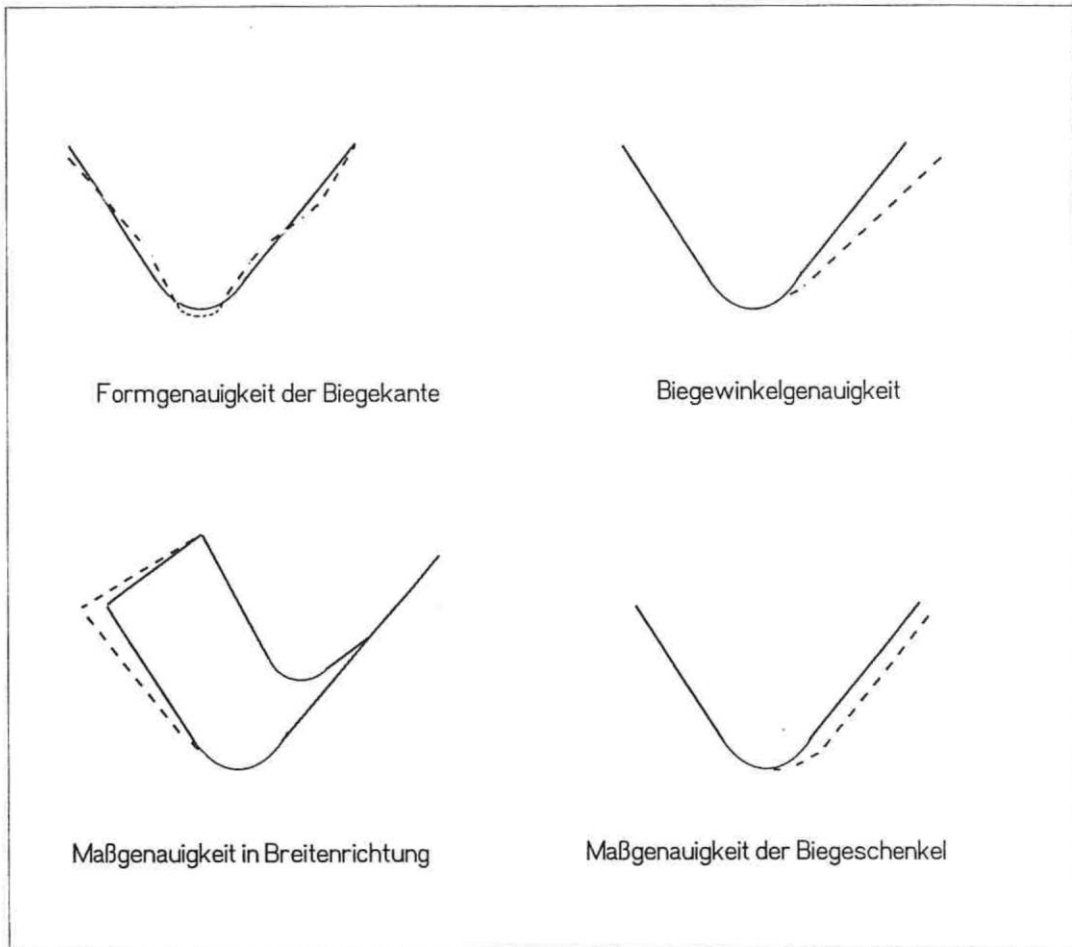


Bild 4.6.1 Anforderungsmerkmale an ein Biegeteil

4.6.2 Fehlerursachen in der Biegeteilefertigung

Fehlerursachen können im betrachteten System selbst, beispielsweise Werkzeugabweichungen und auch in anderen Systemen z.B. als Zugschnittfehler auftreten. Beide Möglichkeiten werden in diesem Konzept berücksichtigt. Im folgenden werden die häufigsten Fehlerursachen aufgelistet und kurz erläutert.

Werkstoffchargenschwankungen

Blechdickenschwankungen haben auf den Biegeprozeß einen maßgeblichen Einfluß. Sie bestimmen wesentlich die Gestalt der Biegelinie mit.

Der Reibungskoeffizient ändert sich mit dem Oberflächenzustand des verwendeten Belches. Damit beeinflusst er die Oberflächengüte des Systems.

Werkstoffkenngrößenschwankungen

Die Fließkurve kann sich bei Chargenwechsel durch Schwankungen in der Werkstoffzusammensetzung ändern. Geänderte Umformkräfte führen über die sich ändernde Maschinenauffederung zu Abweichungen des Bauteils.

Fehlerhafter Zuschnitt

Geometriefehler können die Ursache für beim Biegeprozeß auftretende Abweichungen sein.

Das beim Zuschnitt verwendete Verfahren kann Einfluß auf die Qualität des Biegeteils haben. (z.B. thermische Einflüsse durch Laserschneiden)

Werkzeugabweichungen

Falsche Position oder Orientierung von Werkzeugen bzw. falsches Werkzeug montiert.

Geometrieabweichungen an den Werkzeugen durch in der Fertigung auftretenden Verschleiß.

Verunreinigungen an den Auflageflächen verändern die Maße oder führen durch Montageversatz zu Abweichungen.

Fertigungsbedingte Abweichungen der Werkzeuge.

Maschinenabweichungen

Verschleiß und mangelhafte Wartung der Maschine

Falsches Biegeverfahren gewählt

Beeinflussung durch Auffederung bei falscher Maschinenauswahl

Zur Erfassung von Fehlern, deren Ursachen in der Prozeßregelung liegen, wird eine Fehler-Ursache Liste aufgestellt. Sie bleibt auf die Betrachtung des Gesenkbiegens beschränkt.

Winkelabweichungen

- zu geringe Gesenkweite
- zu großer Stempelradius (Abheben des Blechs)
- abweichende Rückfederung aufgrund zu geringer Biegebreite
- nichtbeachten der Blechanisotropie bei der Zuschnittstellung
- verhindern des Überbiegens
- falsch gewählte Prägekräft
- ungenügende Kompensation schwankender Materialkennwerte
- falsches CNC-Programm
- falscher Stempelweg beim Freibiegen
- falsches Werkzeug

Biegeradiusabweichungen

- Werkzeug deckt die Biegekante nicht ab
- ungleichmäßiger Konturverlauf im Biegeteil (Ausbrüche, Ecken)
- Stempelradius bildet sich nicht korrekt auf dem Blechteil ab
- zu geringe Biegebreite
- Versatz des Werkstücks im Gesenk
- ungenügende Kompensation schwankender Materialkennwerte
- Schwankungen der Zuschnittgenauigkeit

Oberflächenfehler

- Ribbildung durch Kerbwirkung von Ecken oder Randrauhigkeiten
- Abrieb durch zu hohe Reibung
- Abrieb durch zu hohe Flächenpressung
- Schwankungen von Zusammensetzung, Blechdicke oder Walzrichtung des Bleches, dadurch Spannungserhöhung

Schenkellängenabweichungen

- Zuschnittsabweichungen
- falsche Abwicklungsvorschrift
- nichtbeachten der aktuellen Blechdicke bei nur an Biegekanten positionierbaren Teilen mit vielen Kanten
- mangelhafte Positionierung
- mangelhafte Fixierung

Verklemmen

- Randwulst in der Biegezone
- zu enger Eintauchquerschnitt für das Werkzeug
Deformation in der Biegezone
- Kollision angrenzender Werkstückteile
- fehlender Freistich bei aufeinandertreffenden Biegezon
- Spannungsüberhöhungen im Biegezonbereich (Abscherungen
und Wulstbildungen)
- zu großer Abstand des Werkzeugs vom Biegekantenende durch
Positionierabweichungen

Kollision

- falsche Biegefolge gewählt
- fehlerhaftes Werkstückhandling
- Abweichungen von Länge oder Biegewinkel des Werkstücks
- fehlende Berücksichtigung der Maschinenabmessung, Werkzeug
halterung o.ä.

Werkstück wird nicht befördert

- Werkstück dreht sich aufgrund ungünstiger Schwerpunktlage in
eine undefinierte Position
- ungeeignetes Greifwerkzeug
- ungünstige Greifpunkte

4.7 Menüsystem zur Qualitätsdatenerfassung

Aus der Anforderungliste, dem Flußdiagramm und der Systembeschreibung des lokalen Qualitätsdatenerfassungssystems wird ein Menüsystem gebildet, das hier exemplarisch vorgestellt wird.

Auf einzelne Programmabläufe, die auf bestimmte Maschinen- oder Verfahrensvarianten eingestellt sind, explizit einzugehen, ist aufgrund der Vielzahl der Parameter hier nicht möglich.

4.7.1 Allgemeiner Aufbau des Menüsystems

Hauptbestandteile des Menüsystems sind Fenster und Pull-Down-Menü. Dabei dienen die Fenster zur Darstellung der Fertigungsunterlagen, die Pull-Down-Menüs zur Parametereinstellung und Befehlseingabe.

Das folgende Bild zeigt den prinzipiellen Aufbau:

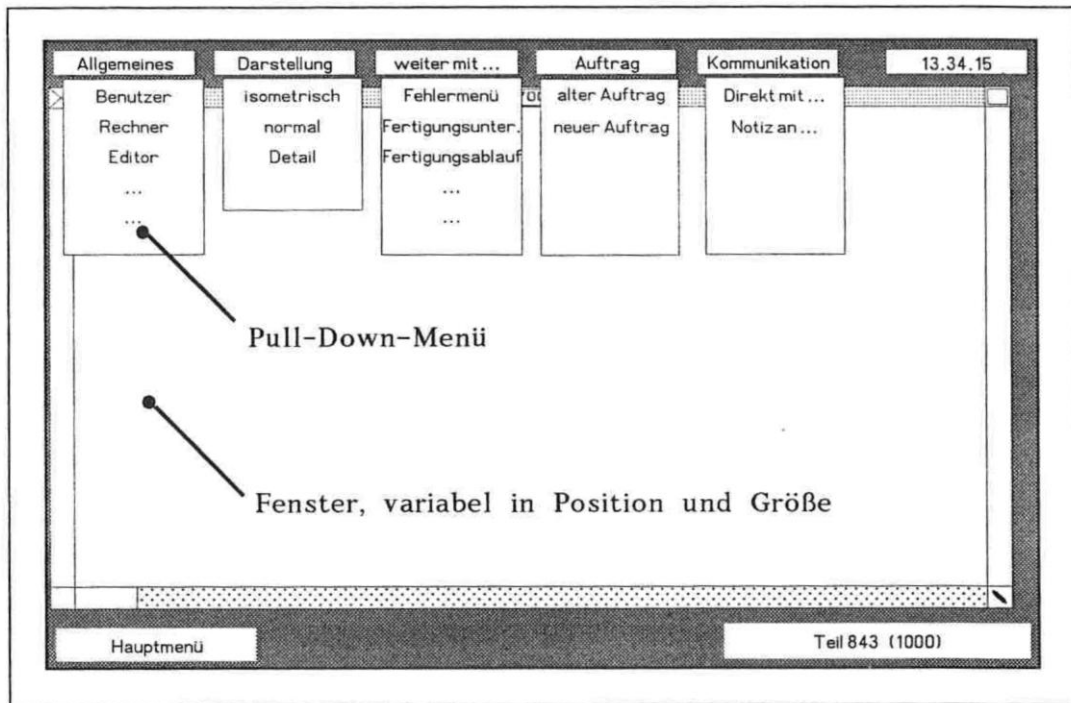


Bild 4.7.1 Das Menüsystem (Hauptmenü)

4.7.2 Das Hauptmenü

Das Hauptmenü erscheint, wenn die Maschine neu gestartet wird, ein neuer Produktionsprozeß beginnt oder sich Grunddaten ändern (s. Kap. 4.4.1) automatisch, kann aber auch jeder Zeit durch den Bediener aufgerufen werden, um z.B. Zugriff auf Daten von bereits erledigten Prozessen zu erlangen.

Das Hauptmenü enthält Informationen, die der Benutzer selbst eingibt, die von anderen Abteilungen (Fertigungsvorbereitung, Konstruktion) bereitgestellt werden, oder die feststehen (Maschinentyp, Fertigungsverfahren). Dies sind im einzelnen:

- Eingabemöglichkeiten des Bedieners:
 - Auftrag Nr.: xy ausführen
 - Änderungen ausführen oder vorschlagen
 - Auftrag zurückstellen und neuen Auftrag übernehmen
 - Prüfverfahren bzw. -umfang ändern
 - allgemeine Verfahrensänderungen vorschlagen bzw. durchführen

- die Daten anderer Abteilungen wie:
 - Auftrag Nr.: xy ausführen
 - Änderungen ausführen
 - Auftrag abbrechen und neuen Auftrag übernehmen
 - Prüfanweisungen
 - Verfahrensänderungen
 - Art der Menüdarstellung

- feststehende Daten wie z.B.:
 - Name des Maschinenbedieners
 - Maschinentyp
 - Auftragsnummer
 - Ort Uhrzeit, Datum

Aus der Aufstellung ist zu ersehen, das dem Maschinenbediener eigenständige Entscheidungen auch in Bereichen erlaubt werden, die in den Zuständigkeitsbereich anderer Abteilungen fallen. Dies erhöht seinen Entscheidungsspielraum und damit seine Motivation. Auch wird durch dieses Verfahren das (Erfahrungs-) Wissen des Bedieners in das System eingebracht und kann sinnvoll verwertet werden.

Die Größe der Einflußnahme muß allerdings individuell angemessen bestimmt werden.

4.7.3 Darstellen der Fertigungsunterlagen, Fertigungsablauf darstellen

Von Hauptmenü wählt der Bediener im Normalfall das Untermenü "Darstellen der Fertigungsunterlagen". Die hier, und im Menü "Fertigungsablauf darstellen" angezeigten Daten und die jeweiligen Eingabemöglichkeiten sind in Kapitel 4.4.1 bereits ausreichend beschrieben, sodaß auf eine erneute Erläuterung an dieser Stelle verzichtet werden kann.

4.7.4 Das Menü "Fehlererkennung"

Die Fehlererkennung beginnt bereits vor dem Produktionsprozeß, um qualitätssichernde Verfahren wie FMEA (s. Kapitel 3.4) durchführen zu können.

Dem Maschinenbediener werden mögliche Fehler, die bei früheren, gleichen oder ähnlichen Prozessen aufgetreten sind, angezeigt.

Das erleichtert ihm das entdecken von Fehlern an dem bevorstehenden Produktionsprozeß.

Desweiteren hat er die Möglichkeit, Fehler und Verbesserungsvorschläge, die noch nicht in der Datenbank enthalten sind, selbst einzugeben. Die Fehlererkennung wird ebenfalls aufgerufen, wenn es während der Fertigung zu Fehlern, z.B. Winkelabweichungen, die von der Maschinensteuerung gemeldet werden, kommt, oder der Bediener Verbesserungsvorschläge machen kann.

Der Bediener erhält im Falle einer automatischen Fehlermeldung eine entsprechende Warnmeldung, so daß er im Rahmen des maschinennahen Regelkreises (s. Kapitel 3.1.3) die entsprechenden Einstellungen korrigieren kann.

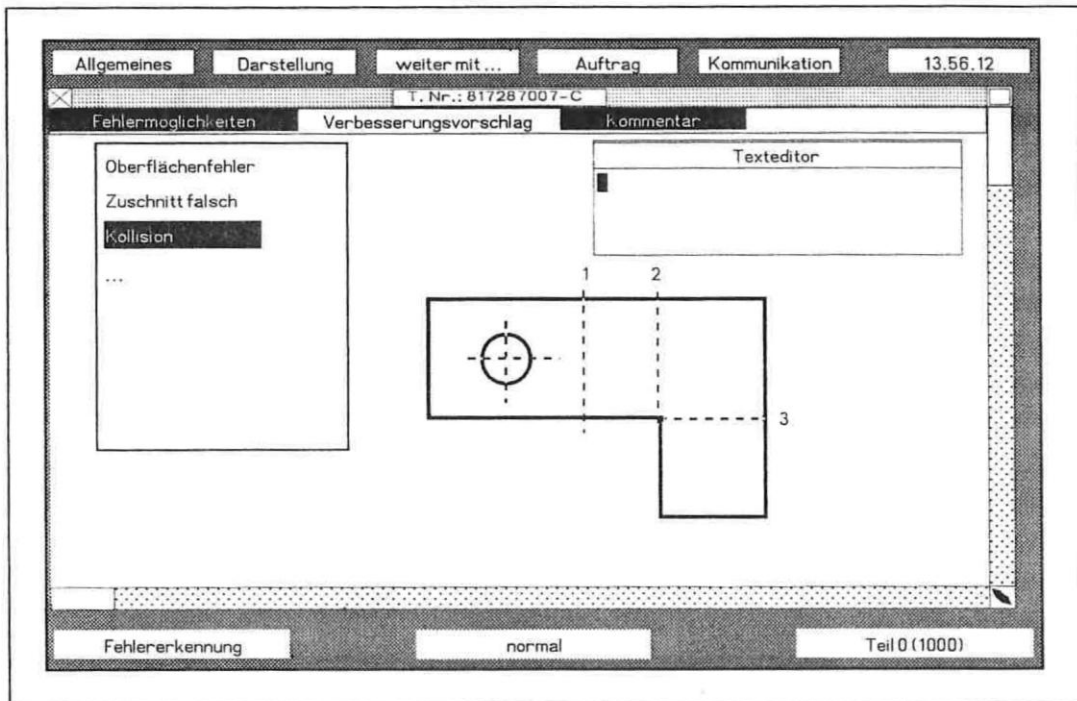


Bild 4.7.4 Fehlererkennung vor der Fertigung

4.7.5 Das Menü "Fehleranalyse"

Nachdem in der Fehlererkennung die Art des aufgetretenen Fehlers bestimmt worden ist, erhält der Maschinenbediener im Menüpunkt Fehleranalyse die Möglichkeit, die Fehlerursachen in das System einzugeben. Unterstützt wird er durch das in der Datenbank gesammelte Wissen aus anderen Prozessen. Eine Bewertung des aufgetretenen Fehlers wird in diesem Menü ebenfalls ermöglicht. Die Ermittlung der (potentiellen) Folgen eines Fehlers und der (potentiellen) Fehlerursachen sowie einer Gewichtung durch den Maschinenbediener ergeben z.B. wichtige Daten zur Aufstellung einer FMEA.

Ist ein Fehler aufgetreten, stellt sich die Frage, ob dieser mit Hilfe von Versuchen untersucht werden soll. Wird mit der statistischen Versuchsplanung gearbeitet, ist insbesondere die Zusammenstellung der Faktoren Prozeßparameter, Prozeßkenngrößen, Produktkenngrößen und Störgrößen sowie die Abschätzung möglicher Interaktionen Bedingung für ein gutes Funktionieren des DOE. Im Rahmen der hier erforderlichen interdisziplinären Vorgehensweise, bildet das mit dem Qualitätsdatenerfassungssystem gesammelte Fachwissen des Maschinenbedieners einen wichtigen Baustein /42/.

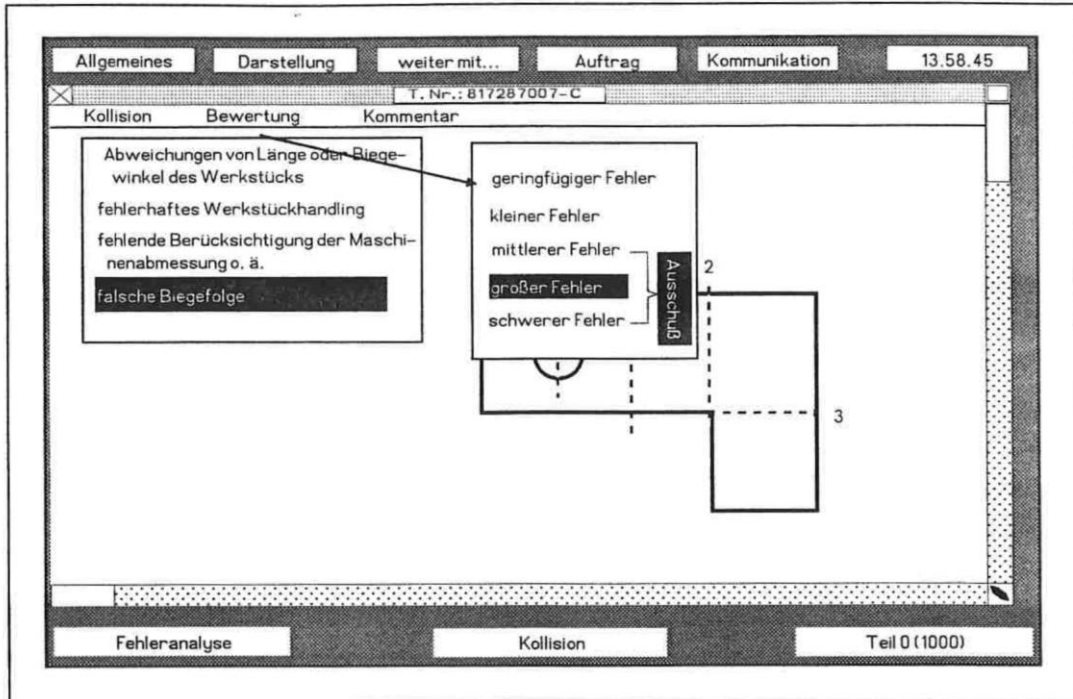


Bild 4.7.5 Fehleranalyse

4.7.6 Das Menü "Fehlerabhilfe"

Als letzter Punkt der Fehlerbehandlung schließt sich die Fehlerabhilfe an. Der Maschinenbediener gibt hier seine Vorschläge zur Vermeidung des Fehlers in das System ein. Im vorgestellten Beispiel ändert er die Biegefolge so, daß eine Kollision vermieden wird. Die eingegebenen Daten werden weiterverarbeitet, so daß z.B. über eine Prozeßsimulation die Entscheidung über die endgültige Biegefolge werden kann.

Die Entscheidung über die Durchführung einer Fehlerabhilfemaßnahme kann bei einem geringfügigen Eingriff vom Maschinenbediener selbst gefällt werden, andere Entscheidungen müssen mit den entsprechenden verantwortlichen Abteilungen abgeklärt werden.

Die Information über eine Fehlerabhilfemaßnahme wird in jedem Fall über das Datenerfassungssystem an die Datenbank weitergegeben und ist dort für jede Abteilung verfügbar.

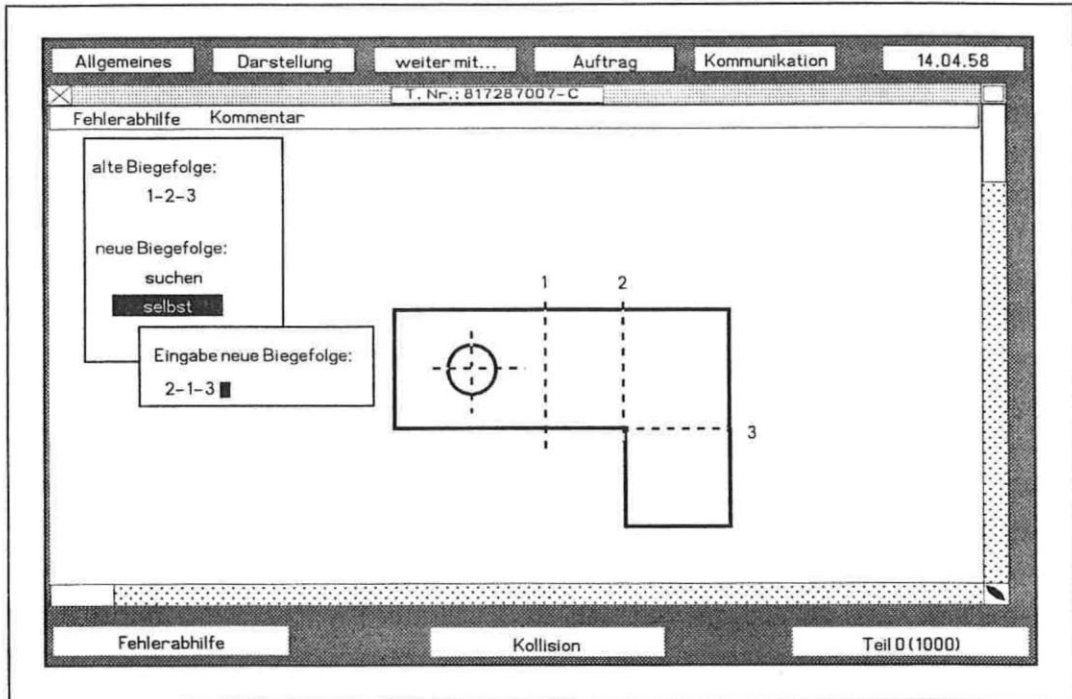


Bild 4.7.6 Fehlerabhilfe

4.7.7 Das Menü "Fertigung"

Befindet sich der Maschinenbediener im Menüpunkt Fertigung, so ist ebenfalls ein Zugriff auf die Menüpunkte zur Fehlerbehandlung jederzeit möglich. Hat er einen Verbesserungsvorschlag oder bemerkt er einen Fehler, kann er, wie in Kapitel 4.7.4-4.7.6 beschrieben, in das System eingreifen. Über das Qualitätsdatenerfassungssystem findet auch zu diesem Zeitpunkt ein Informationsaustausch statt. (s. Kapitel 4.5.1 "Fertigung")

4.7.8 Das Menü "Prüfen"

Während, oder nach der Fertigung wird das Biegeteil anhand eines Prüfplans auf Abweichungen untersucht.

Dieser Menüpunkt wurde in Kapitel 4.5.1 "Prüfen" bereits beschrieben.

4.7.9 Auftrag abgeschlossen

Wurde die erforderliche Anzahl an Biegeteilen gefertigt, erhält der Bediener eine entsprechende Mitteilung und erreicht den Menüpunkt "Auftrag abgeschlossen". Durch das Qualitätsdatenerfassungssystem besteht ebenfalls die Möglichkeit, dem Maschinenbediener eine Änderung des Auftragsumfangs direkt und ohne Zeitverzögerung mitzuteilen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem hier entwickelten Qualitätsdatenerfassungssystem hat der Benutzer die Möglichkeit, im Rahmen eines Qualitätsinformationssystems, qualitätsrelevante Fertigungsdaten am Arbeitsplatz zu erfassen. Dabei wird insbesondere das Erfahrungswissen des Maschinenbedieners genutzt.

In Kapitel 2 werden die wichtigsten Blechbiegeverfahren vorgestellt. Insbesondere werden die Verfahren des Schwenk- und Gesenkbiegens näher betrachtet. Es wird die Einbindung dieser Verfahren in CA-Technologien verdeutlicht.

Auf diese Verfahren anwendbare Qualitätssicherungsverfahren werden in dem Kapitel "Qualitätsmanagement und Qualitätsdatenerfassung" beschrieben. Dabei zeigt sich, daß der Einsatz z. B. der statistischen Versuchsplanung nicht bei jedem Produkt sinnvoll ist. Im allgemeinen ist aber festzustellen, daß mit zunehmenden Verfahrensvarianten, mit höheren Genauigkeitsanforderungen und mit größerer Komplexität der Biegeteile Qualitätssicherungsstrategien an Bedeutung gewinnen werden. Zu diesen Strategien gehört auch die Qualitätsdatenerfassung, die in Kapitel 4 entwickelt wird.

Nach einer kurzen Darstellung der Qualitätsdatenerfassung im Zusammenhang mit dem am Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren entwickelten Qualitätsinformationssystem, werden die Anforderungen an ein Qualitätsdatenerfassungssystem und deren Aufgaben entwickelt.

Hier zeigt sich, daß insbesondere die Erfüllung ergonomischer Anforderungen entscheidend für ein Funktionieren des Systems ist.

Die Benutzerführung wird in Kapitel 4.4 anhand eines Flußdiagramms festgelegt, das die Kommunikation des Maschinenbedieners mit dem Qualitätsdatenerfassungssystem beschreibt.

Durch die Aufstellung einer Systematik werden Systemgrenzen festgelegt und Subsysteme erstellt, sowie deren Kommunikation und Verbindung untereinander dargelegt.

Das Kapitel "Qualitätsfehlerbehandlung an Biegeteilen" zeigt allgemein bekannte Fehler und Fehlerursachen sowie Fehlerabhilfemaßnahmen in der Feinblechumformung. Diese bilden die Grunddaten, auf denen die Qualitätsdatenerfassung aufbaut.

Im Anschluß wird in Kapitel 4.7 die praktische Umsetzung der Qualitätsdatenerfassung anhand eines Menüsystems entwickelt.

In der modernen Fertigung sind computerintegrierte Produktion und Qua-

litätsmanagement feste Bestandteile eines Unternehmenskonzeptes, um einer zunehmend notwendigen Automatisierung und Flexibilisierung Rechnung zu tragen.

Dies ermöglicht auch in der Feinblechumformung eine Erweiterung der Produktpalette und die Eröffnung neuer Absatzmärkte.

Die CA-Technologien bedingen eine Vernetzung der unterschiedlichen Abteilungen eines Unternehmens und einen umfangreichen Datenaustausch. Dieser findet im Rahmen eines Qualitätssysteme auch mit Qualitätsdaten statt, die als Wissensbasis in einer Datenbank abgelegt werden.

Das zur Erfassung von Qualitätsdaten am Arbeitsplatz entwickelte Qualitätsdatenerfassungssystem muß in ein vom Qualitätssystem verwendetes Datenmodell eingebunden werden, um eine reibungslose Kommunikation zu ermöglichen.

Es ist bei der Programmierung des Menüsystems eine Eingabeform zu wählen, die den Bediener unterstützt, Redundanz zu vermeiden und Konsistenz zu gewährleisten.

Das Ziel, das Erfahrungswissen des Maschinenbedieners möglichst umfangreich zu erfassen, wird durch eine ergonomische Benutzerführung erreicht. Die Speicherung und Nutzbarmachung dieses Wissens bewirkt eine kontinuierliche Optimierung der Qualität des Produktionsprozesses. Sie erleichtert und verbessert den Einsatz von Qualitätssicherungsstrategien, die durch die Entwicklung hin zu immer komplexeren Verfahrensvarianten in der Feinblechumformung an Bedeutung gewinnen werden.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ Malle, K.:
Blech: Wiederentdeckt, weil wiederverwertbar.
VDI-Z. 131 (1989) 45-51.
- /2/ Hoffmann, M.; Geißler, U.:
Automatisierte Fertigungsvorbereitung in der Blechbearbeitung
Teil II: Biegestadienplanung.
CAD-CAM-Report Nr. 10 (1989).
- /3/ Maevus, F.; Rothstein, R.; Sulaiman, H.:
Flexibles Werkzeugsystem für das Freibiegen, Umformtechnik
Ideen, Konzepte und Entwicklungen.
Stuttgart: B. G. Teubner Verlag (1992).
- /4/ Geiger, M.:
Entwicklungstendenzen in der flexiblen Blechbearbeitung. Bei-
spiele aus der PAP-Modellfabrik an der Universität Erlangen.
Stuttgart: CAD-Proceedings (1988) 80-83.
- /5/ Lange, K. (Hrsg.):
Umformtechnik, Bd. 1: Grundlagen.
Berlin Heidelberg New York: Springer 2. Aufl. (1990).
- /6/ DIN 8586:
Fertigungsverfahren Biegeumformen.
Berlin Köln: Beuth-Verlag (April 1971).
- /7/ Haenni, E.; Zborny, V.:
Das Dreipunktbiegeverfahren.
Bern: Verlag Technische Rundschau. Sonderdruck aus Ferti-
gung Nr. 3 (Juni 1976).
- /8/ Finckenstein, E.v.; Rothstein, R.:
Gesenkbiegen von Blechen mit automatischer Rückfederungs-
korrektur.
Industrie-Anzeiger 110 (1988) 24 19-20.

- /9/ Schamuhn, S.; Sulaiman, H.:
Konstruktion von verschiedenen Werkzeugen für das Biegen mit variabler Gesenkweite.
Universität Dortmund Interner Bericht Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren (1993).
- /10/ Schiefernbusch, J.:
Untersuchungen zur Verbesserung des Umformverhaltens von Blechen beim Biegen.
Universität Dortmund VDI-Verlag VDI-Forschungsberichte Reihe 2 Nr. 60 (1983).
- /11/ Kahl, K.-W.:
Untersuchungen zur Verbesserung der Form- und Maßgenauigkeit beim Biegen von Blechen.
Universität Dortmund VDI-Verlag VDI-Forschungsberichte Reihe 2 Nr. 11 (1986).
- /12/ Geiger, R.; Dorth, H.; Harmann, R.:
Moderne Methoden zur Qualitätssicherung und Prozeßüberwachung.
Darmstadt 4. Umformtechnisches Kolloquium "Produktionstechnik im Wandel" (13.-14. März 1991).
- /13/ VDI-Richtlinie 3389:
Biegeumformen, 90^0 Keilbiegen.
VDI-Verlag (1972).
- /14/ Prof.-Dr.-Ing Crostack: Qualitätssicherung I/II.
Vorlesung Universität Dortmund (1992).
- /15/ Warnecke, H.-J.; Melchior, K. W.; Kring, J.:
Handbuch Qualitätssicherung.
Verlag Moderne Industrie (1992).
- /16/ Bernecker, K.:
SPC-Anleitung zur statistischen Prozeßregelung.
DGQ; Beuth (1990).
- /17/ Pfeifer, T.; Hollmann, F. (Hrsg.):
Innovative Qualitätssicherung in der Produktion.
FQS (1994).

- /18/ Böhme, N.:
Unternehmensweite Qualitätssicherung mit CAQ-Systemen.
Maschinenmarkt 100 (21) (1994).
- /19/ Burkart, R.:
Flexibilität ist Trumpf; Übersichtliche und eindeutige
Datenerfassung.
Kontrolle 5 (1994).
- /20/ Bertling, Lutz:
Informationssysteme als Mittel zur Einführung neuer Produk-
tionstechnologien.
Vulkan Verlag (1994).
- /21/ Woll, Ralf:
Informationsrückführung zur Optimierung der Produktentwik-
klung.
Hanser Verlag (1994).
- /22/ Meier, Frank:
Rechnergestützte Prozessregelung beim flexiblen Gesenkbiegen
durch Rückführung von Qualitätsinformationen.
Universität Karlsruhe Forschungsbericht aus dem Institut für
Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik Band 51 (1994).
- /23/ Paul, Timo:
Konzept für ein schleiftechnologisches Informationssystem
Forschungsbericht.
VDI Reihe 2 Nr.: 313 VDI Verlag (1994).
- /24/ Reuschenbach, Wilfried:
Entwicklung und Einsatz eines universellen Stördatenerfas-
sungssystems mit wissensbasierter Diagnose für Produktion-
seinrichtungen.
RWTH Aachen Diss. Fakultät für Maschinenwesen (1993).
- /25/ Orendi, Gerald:
Systemkonzept für die phasenneutrale Fehlerbehandlung als
Voraussetzung für den Einsatz präventiver Qualitätssiche-
rungsverfahren.
Shanker Verlag (1993).

- /26/ Lange, Kurt (Hrsg.):
Lehrbuch der Umformtechnik, Bd. 3: Blechumformung.
Berlin Heidelberg New York Springer-Verlag 2. Auflage (1990).
- /27/ Kienzle, O.:
Untersuchungen über das Biegen.
Mitteilungen DFBO 57-65 (1952).
- /28/ Ludwig, P.:
Technologische Studie über Blechbiegung.
Technische Blätter 35. Verlag des Deutschen Polytechnischen
Vereins in Böhmen, Prag (1903) 133-159.
- /29/ Dubbel:
Taschenbuch für den Maschinenbau.
17. Auflage Springer (1990).
- /30/ Spur, G.; Stöfflerle, T.:
Handbuch der Fertigungstechnik Bd. 2/3
- /31/ Wolter, K.H.:
Freies Biegen von Blechen.
VDI-Forschungsheft 435.
Düsseldorf VDI-Verlag (1952).
- /32/ Weimar, G.:
Messung und Beeinflussung von Kantendehnungen beim Walz-
profilieren.
Industrie-Anzeiger 90 (1968) 2012-2013
- /33/ Dannenmann, E.:
Werkzeuggeometrie und Stempelkraft beim Biegen im V-Ge-
senk.
Werkstattechnik 64 (1974) 527-531.
- /34/ Geiger, Rolf
Moderne Methoden der Qualitätssicherung in der Umformtech-
nik
Umformtechnik 25 (1991)

- /35/ Eberleh, E.:
Richtlinien für grafische Benutzeroberflächen.
Unix-Magazin Oktober 1991 46-60
- /36/ DIN 55350
- /37/ Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz
Eigenverlag FMEA Frankfurt/Main 2. Auflage (1986)
- /38/ Kirstein, H.
Qualitätsfähigkeit von Fertigungsprozessen. Praxishandbuch
Qualitätssicherung Bd. 2
München gfmt (1987)
- /39/ Firmenschrift der Fa IDOS, Karlsruhe
CAQ-PC, Rechnergestützte Qualitätssicherung im Warenein-
gang
- /40/ Firmenschrift der Fa. Komeg, Riegelsburg
Meßcomputersystem MCS 100 und Qualitätssicherungssystem
QDS 803
- /41/ Firmenschrift der Fa. RMP-Rheinmetal, Neuss
Rechnergestütztes Vielstellenmeßgerät VMG 300 für statische
und dynamische Meßungen
- /42/ Austerhoff, N.; u.a.:
Qualitätssicherungsstrategien in der Blechumformung
Interner Bericht Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren
Prof. Dr. Ing. E.v.Finckenstein Universität Dortmund (1994)
- /43/ Nedeß, C.; Holst, H.
Hilfen für statistische Versuchsplanung Teil 1
QZ 37 (1992) 2 S. 93-96
- /44/ Kuhn, H.
Klassische Versuchsplanung Versuch einer Wertung
VDI-Z 132 Nr. 12 (1990) S. 91-94

- /45/ Krottmeier, J.
Taguchi, Shainin-Stein der Weisen?
QZ 36 (1991) 2 S. 90-93
- /46/ Beling, G; Wersing, G.
Zur Typologie von Daten und Informationssystemen
Verlag Dokumentation (Sauer AG) Pullach (1973)
- /47/ Kjellberg, T.; Schmekell, H.
Product modelling and information integrated engineering systems
CIRO Annals 41 (1992) S. 201-205
- /48/ Eberleh, E.
Richtlinien für graphische Benutzeroberflächen
Unix Magazin Oktober (1991) S. 46-60
- /49/ System Application Architectur
Commen Users Access Panel Design and User Interaction
IBM First Edition Dezember (1987)
- /50/ Human Interface Guidelines
The Apple Desktop Interface
Apple Firmenschrift (1987)
- /51/ SUN
Open Look Graphical User Interface Application Style Guidelines
Firmenschrift
- /52/ OSF/Motif
Style-Guide
Revision 1.0 Open Software Foundation Englewood Cliffs New Jersey Prentice Hall (1990)
- /53/ Gesellschaft für Informatik
Gestaltungsempfehlungen für Benutzungsoberflächen von CAD-Systemen
Univ. Hamburg Fachgruppe 4.2.1 AK2 IPK Berlin, 1992

- /54/ ISO 7000
Graphical Symbols For Use On Equipment
- /55/ Büchel, Rene
Rechnergestützte Qualitätssicherung in der Blechverarbeitung
Bänder Bleche Rohre Bd. 5 (1989)
- /56/ Kring, J.R.
Integrierte CAQ-Funktionen
CIM-Management 5 (1989) 4 S. 4-9
- /57/ Melchior, K.W.; Kring, J.R.; u.a.
Durchgängige Systeme und Prozesse - Voraussetzung für
Qualität
FhG-Berichte (1990) 2, S. 4-9
- /58/ Csikszentmihalyi, M.:
Flow: Das Geheimnis des Glücks
Stuttgart: Klett (1992)
- /59/ Uhlich, E.:
Arbeitspsychologie
2. Auflage Stuttgart: Schäfer-Pöschel (1992)
- /60/ Heinz
Script zur Vorlesung Angewandte Arbeitspsychologie
Universität Dortmund (1990)
- /61/ Zink, K:
Zur Begründung einer zielgruppenspezifischen Organisations-
entwicklung
Z. f. Arbeitswissenschaft 32 (1987) s. 42-48
- /62/ Triebe, J.K.:
Untersuchungen zum Lehrnprozeß während des Erwerbs der
Grundqualifikation ...
Bonn: BMFT Ident.: HA 80-019 (1980)

- /63/ Osullivan, D.; Lane, J.:
Development and operation of a demand pull, sheet metal
flexible manufacturing system
Journals of Material Processing Technology, 24 (1990)
463-472
- /64/ Pfeifer, T.; Grob, R.; u.a.:
Wissensbasierte Systeme ergänzen die Meßwertanalyse
Industrie-Anzeiger 40 (1989) 31-33
- /65/ Rothstein, R.:
Einsatz der Prozeßsimulation zur Analyse und Weiterentwick-
lung von Gesenkbiegeverfahren
Dissertation, Universität Dortmund (1991)
- /66/ Hipp, Thomas; Graf, Wolf-Dietrich
Aspekte der Qualitätssicherung in der Umformtechnik
Umformtechnik 25 (1991)
- /67/ Ahlers, R.J.
Integrierte Qualitätssicherung in der Blechumformung
Blech Rohre Profile, Bd. 4 (1994)
- /68/ Severin, Frank
Experimentelle Untersuchungen zum Freibiegen mit stufenlos
verstellbarer Gesenkweite
Diplomarbeit Lehrstuhl für Umformende Fertigungsverfahren
Universität Dortmund (1995)
- /69/ Fait, J.
Grundlagenuntersuchungen zur Ermittlung von Kenngrößen
für das CNC-Schwenkbiegen
Industrieanzeiger 42 (1987)
- /70/ Schönefeld, Wolfgang
Formklassifizierung von Biegeteilen zur Unterstützung der
Verfahrensauswahl
Interner Bericht am Lehrstuhl für Umformende Fertigungs-
verfahren, Prof. Dr. Ing. E. v. Finckenstein, Universität
Dortmund (1994)

