



(10) **DE 10 2010 027 440 A1** 2012.01.19

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 027 440.2**

(22) Anmeldetag: **17.07.2010**

(43) Offenlegungstag: **19.01.2012**

(51) Int Cl.: **B21D 22/20 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**AUDI AG, 85057, Ingolstadt, DE**

(72) Erfinder:

**Annen, Christoph, 85055, Ingolstadt, DE;  
Pillatsch, Pit, Zürich, CH; Oberpriller, Bernhard,  
85049, Ingolstadt, DE; Wahl, Martin, Dr., 85128,  
Nassenfels, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 42 29 155 C2  
EP 1 830 235 A2**

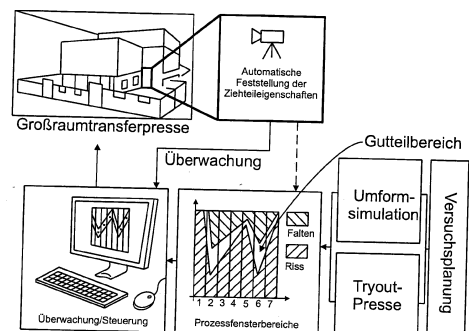
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Einrichtung eines Blechumformprozesses als Tiefziehprozess zur Herstellung von Tiefziehteilen, insbesondere von Karosseriebauteilen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einrichtung eines Blechumformungsprozesses als Tiefziehprozess zur Herstellung von Tiefziehteilen, insbesondere von Karosseriebauteilen. Erfindungsgemäß wird in einem ersten Verfahrensschritt ein Prozessfenster entsprechend einem Gutteilbereich erstellt, indem simulativ an einem virtuellen Tiefziehteil und/oder experimentell mit einem Realwerkzeug in der Art einer Tryout-Pressen an einem realen Tiefziehteil die Prozessgrenzen der Ziehstufe bezüglich der Versagensgrenzen für Ziehteileigenschaften, insbesondere für Falten und Risse bestimmt werden.

In einem zweiten Verfahrensschritt werden wiederum simulativ oder experimentell anhand von zu erwartenden Streuungen von Prozess- und Werkstoffparametern in einem Prozessfenster die Lage eines optimalen Arbeitspunkts und die zu erwartende Streubreite bestimmt und in einem dritten Verfahrensschritt wird ein CpK-Wert für den Tiefziehprozess und/oder für in einem aktuellen Prozessfenster betrachtete Ziehteileigenschaften eines Ziehteilbereichs festgelegt sowie das Prozessfenster entsprechend dem CpK-Wert zu einem „zugelassenen Prozessfensterbereich“ eingengt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einrichtung eines Blechumformprozesses als Tiefziehprozess zur Herstellung von Tiefziehteilen, insbesondere von Karosseriebauteilen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Dabei werden im Tiefziehprozess einer Presse Blechplatinen zugeführt, die zur Herstellung einer bestimmten Bauteilform mittels eines Ziehstempels in einer Matrize umgeformt und tiefgezogen werden.

**[0002]** Es ist allgemein bekannt, dass in der Großserienfertigung von Tiefziehteilen trotz gleichbleibender Prozessführung erhebliche Veränderungen der Ziehteilqualitäten zu beobachten sind. Diese sind einerseits durch veränderliche Eigenschaften des Halbzeugs und andererseits durch die sich ändernde Prozessumgebung bedingt. Werkstoffseitig sind Unterschiede der Materialeigenschaften insbesondere als Schwankungen zwischen unterschiedlichen Blechrollen und/oder sich über die Abwicklungslänge veränderliche mechanische Werkstoffeigenschaften festzustellen. Änderungen in der Prozessumgebung können insbesondere Einflüsse durch einen Pressenwechsel und damit verbundene veränderte Steifigkeiten des verwendeten Umformmaschine-Werkzeug-Systems und/oder Änderungen der Temperaturverteilung in der Umformpresse und/oder Änderungen der Temperaturverteilung im Umformwerkzeug sowie auf dessen Oberfläche auftreten und zu Veränderungen der Ziehteilqualitäten führen.

**[0003]** Zudem sind allgemein mehrere Verfahren für eine Prozessführung bei Blechumformprozessen bekannt, wobei durch die Online-Überwachung von Prozesskennwertgrößen und den Vergleich mit vorbestimmten Sollwertverläufen eine Qualifikation des laufenden Prozesses durchgeführt wird. Als überwachte Prozesskennwertgrößen werden insbesondere der Einlaufweg, bzw. die Einlaufgeschwindigkeit der Platinenberandung, und/oder die Ziehstempelkraft und/oder der Ziehkraftverlauf und/oder der durch den umgeformten Werkstoff erzeugte Schall verwendet. Zusätzlich werden die zur Umformung bereitgestellten Platinen vor der Umformung bezüglich der Werkstofffestigkeit und/oder der Blechdicke und/oder der Oberflächenrauheit und/oder der Schmierfilmdicke und/oder der Viskosität des Schmiermittels untersucht. Es ist auch allgemein bekannt die Oberflächentemperaturverteilung auf dem Umformwerkzeug und auf dem umgeformten Werkstück als Kriterium zur Beurteilung des Prozesses zu verwenden.

**[0004]** Konkret wird ein entsprechendes Prozesssteuerungsverfahren für einen Umformprozess in EP 1 688 196 B1 beschrieben.

**[0005]** Weiter ist ein Verfahren zur automatischen Beeinflussung von Maschineneinstellgrößen

bei Druckgussmaschinen bekannt, bei dem in einer Testphase mit Variationen von Maschineneinstellgrößen ein vorläufiger Arbeitspunkt ermittelt und eingestellt wird, der dann in der Produktionsphase durch Untersuchungen an den hergestellten Spritzgussteilen optimiert wird. Ein ähnliches Prozessoptimierungsverfahren ist für Tiefziehprozesse aus DE 42 29 155 C2 bekannt.

**[0006]** Weiter ist es allgemein bekannt, zur statistischen Bewertung eines Prozesses in der Produktionstechnik den Prozessfähigkeitsindex Cpk zu verwenden (<http://de.wikipedia.org/wiki/prozessf%C4%B4higkeitsindex>). Dieser Cpk-Wert wird folgendermaßen aus dem Mittelwert  $\mu$ , der zugehörigen Standardabweichung Sigma bzw.  $\delta$  und der oberen Spezifikationsgrenze  $T_o$  sowie der unteren Spezifikationsgrenze  $T_u$  definiert:

$$Cpk = \frac{\text{Min} [(\mu - T_u) ; (T_o - \mu)]}{3\delta}$$

**[0007]** Je höher der Cpk-Wert ist, umso sicherer befindet sich die gesamte Produktion innerhalb der Spezifikation. Ersichtlich zieht dabei der Prozessfähigkeitsindex Cpk außer der Toleranzbreite und der Prozessbreite auch noch die Lage des Prozessmittelwerts in Betracht.

**[0008]** Früher wurde ein Cpk-Wert von mindestens 1,00 (Abstand der nächstgelegenen Toleranzgrenze vom Prozessmittelwert beträgt mindestens 3 Standardabweichungen) als ausreichend angesehen. Später wurde die Forderung auf einen Cpk-Wert von 1,33 (4 Standardabweichungen) angehoben und heutzutage werden insbesondere Cpk-Werte von 1,5 (4,5 Standardabweichungen) als wünschenswertes Ziel gefordert. Zur Definition des Cpk-Werts wird zudem auf [Fig. 4](#) hingewiesen. Beispielsweise ergibt sich aufgrund der Verteilungskurve bei einem Cpk-Wert von 1,00 eine Anzahl von Ausschussteilen pro einer Million hergestellter Einheiten (PPM) von 2.699, bei einem Cpk-Wert von 1,33 sind das 66PPM und bei einem Cpk-Wert von 1,5 sind das 6PPM.

**[0009]** In der Literaturstelle „Dietrich E., Schulze A, statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation, Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-41525-6“ wird dargelegt, dass ein laufender Prozess mittels der Auswertung (Protokollierung) der Anzahl fehlerhafter Produktionseinheiten pro einer Million hergestellter Einheiten qualifiziert wird. Damit muss ein angemessen langer Zeitraum unter normalen Serienbedingungen betrachtet werden, damit sichergestellt wird, dass alle Einflussfaktoren bei dieser Betrachtung wirksam werden können. Somit handelt es sich hier um eine nachträgliche Betrachtung (reines Postprocessing) mit dem Ergebnis, dass nachträglich in einem laufenden Prozess die Prozessfähigkeit mit der Kennzahl des Cpk-Wertes ausgedrückt wird.

**[0010]** Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber ein Verfahren vorzuschlagen mit dem in Verbindung mit einem sogenannten Preprocessing ein weitgehend seriengeeigneter Blechumformprozess als Tiefziehprozess eingerichtet werden kann.

**[0011]** Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0012]** Dazu wird in einem ersten Verfahrensschritt ein Prozessfenster entsprechend einem Gutteilbereich erstellt, in dem simulativ an einem virtuellen Tiefziehteil und/oder experimentell mit einem Realwerkzeug in der Art einer Tryout-Presse an einem realen Tiefziehteil die Prozessgrenzen der Ziehstufe bezüglich der Versagensgrenzen für Ziehteileigenschaften, insbesondere für Falten und Risse bestimmt werden. Dabei werden die zu erwartenden dominanten Einflussgrößen auf die Ziehteilqualität berücksichtigt und die Prozessgrenzen werden auf eine oder eine Kombination von Ziehteileigenschaften und deren zugeordnete Ziehteilmessgrößen für jeden Ziehteilbereich gesondert definiert.

**[0013]** In einem zweiten Verfahrensschritt werden dann wiederum simulativ oder experimentell anhand von zu erwartenden Streuungen von Prozess- und Werkstoffparametern in einem Prozessfenster die Lage eines optimalen Arbeitspunkts sowie die zu erwartende Streubreite bzw. Schwankungsbreite der Prozessantwort als Prozessergebnis für die betrachtete Ziehteileigenschaft eines Ziehteilbereichs bestimmt.

**[0014]** In einem dritten Verfahrensschritt wird dann ein Cpk-Wert für den Tiefziehprozess- oder für in einem aktuellen Prozessfenster betrachtete Ziehteileigenschaften eines Ziehteilbereichs festgelegt und das vorherig bestimmte Prozessfenster entsprechend dem Cpk-Wert zu einem „zugelassenen Prozessfensterbereich“ eingeengt und/oder verschoben, mit dem dann ein anlaufender Serienprozess geregelt und beurteilt wird.

**[0015]** Erfindungsgemäß wird somit im Gegensatz zum Stand der Technik eine Möglichkeit geschaffen im sogenannten Preprocessing, das heißt bereits in der Planung und bei der Einrichtung eines Blechumform-Produktionsprozesses Prozessfenster für Ziehteileigenschaften zu bestimmen und deren Grenzen in Abhängigkeit eines angestrebten Cpk-Wertes zu einem „zugelassenen Prozessfensterbereich“ einzuengen und zu verschieben. Damit wird die Prozessfähigkeit hier nicht erst im Nachhinein sondern bereits im Preprocessing bestimmt. Vielmehr werden die Prozessfenster für die Ziehteil- und Prozesseigenschaften als „zugelassene Prozessfensterbereiche“ vorgängig dahingehend bestimmt, dass der Prozess mit der angestrebten Fähigkeit produziert. Die Prozessparameter (Einstellgrößen) werden vorgän-

gig zur Einhaltung der „zugelassenen Prozessfenster“ ebenfalls anhand von Modellen/Erfahrungen festgelegt.

**[0016]** In einem vierten Verfahrensschritt können anhand des realen Serienprozesses im Postprocessing anhand von realen Serien-Tiefziehteilen gegebenenfalls Korrekturen am vorab im Preprocessing ermittelten „zugelassenen Prozessfensterbereich“ für Optimierungen vorgenommen werden.

**[0017]** Für die Einhaltung des Prozessbetriebs im gegebenenfalls korrigierten „zugelassenen Prozessfensterbereich“ kann vorzugsweise eine Nachjustierung der Presseneinstellungen und/oder eine Anpassung der Platinenbeölung und/oder eine Optimierung des Platinenzuschnitts und/oder der Einsatz von im Werkzeug verbauter Aktorik und/oder die Verwendung eines anderen Platinenpakets vorgenommen werden.

**[0018]** Als Ziehteileigenschaften und als zugeordnete Ziehteilmessgrößen, anhand derer der Tiefziehprozess zu qualifizieren ist, werden insbesondere Faltenbildungen und/oder Rissbildungen und/oder Einschnürungen und/oder Riefenbildungen und/oder Oberflächenfehler wie Nachlaufkanten, Einfallstellen, Welligkeiten und/oder Blechdickenreduktionen und/oder plastische Dehnungen und/oder Formänderungen und/oder Verschiebungen betrachtet.

**[0019]** Zusammenfassend liegt somit der Unterschied zu bereits bekannten Verfahren in

- der Cpk abhängigen Bestimmung von zulässigen Ziehteileigenschaften,
- in der Verknüpfung experimentell ermittelter Prozesskennwerte mit vorab simulativ eruierten Prozesscharakteristika,
- in der quantitativen Prozessqualifikation anhand der Ziehteileigenschaften nach dem Hub,
- in der Erkennung von Tendenzen anhand eines durchgängigen Monitorings der Ziehteileigenschaften entsprechend einer Unterscheidung bzw. Vergleichsmöglichkeiten von „Gutteilen“ und
- in der Möglichkeit zur proaktiven (präventiven) Prozesssteuerung/-regelung im Gutteilfenster, wobei eine Korrektur bereits eingeleitet wird, bevor ein Ausschuss, das heißt „Schlechtteile“ produziert werden.

**[0020]** Vorteile gegenüber bereits bekannten Verfahren liegen somit insbesondere in:

- einer finanziellen Ersparnis, da keine Sensorik zur In-Hub-Prozessüberwachung geschafft werden muss,
- in einer weiteren finanziellen Ersparnis, da keine Sensorik in den konventionellen Tiefziehwerkzeugen verbaut werden muss,

- in der Möglichkeit der Festinstallation in einer Großraumtransferpresse und
- in der Übertragbarkeit auf alle im Karosseriebau gefertigten Ziehteilklassen.

[0021] Anhand einer Zeichnung wird die Erfindung weiter erläutert.

[0022] Es zeigen:

[0023] Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm zur Cpk-abhängigen Bestimmung und Kontrolle von Prozesskennwerten und deren zulässiger Variation im Blechumformprozess

[0024] Fig. 2 ein Prozessfenster für acht Bauteilbereiche mit bereits (teilweise) eingetragenen Betriebspunkten und Schwankungsbreiten

[0025] Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Cpk-abhängig eingeeengten Prozessfensters

[0026] Fig. 4 eine Darstellung zur Definition des Cpk-Werts und

[0027] Fig. 5 eine Prinzipskizze für eine konkrete Realisierung des Flussdiagramms nach Fig. 1.

[0028] Im Flussdiagramm nach Fig. 1 sind unter dem Begriff „Definition“ die Erstellung eines Prozessfensters, unter dem Begriff „Optimierung“ die Ermittlung eines optimalen Arbeitspunkts und von Streubereichen, unter dem Begriff „Restriktion“ die Cpk-abhängige Definition des Prozessfensters und unter dem Begriff „Adaption“ die Korrektur zu einem validierten Prozessfenster erläutert.

[0029] In Fig. 2 sind beispielhaft simulativ ermittelte Prozessfenster für Ziehteilbereiche 1 bis 8 eines Demonstratorziehteils dargestellt, wobei der obere schraffierte Bereich ein erstes Fehlerkriterium (zum Beispiel Falten) und der untere schraffierte Bereich ein zweites Fehlerkriterium (zum Beispiel Riss) bedeutet. Ziehteilbereiche, in denen sich die Grenzen für die Versagenskriterien (hier Falte und Riss) überlappen, können für die Prozessregelung auf Basis der untersuchten Bauteileigenschaften nicht verwendet werden, das heißt, dass anhand dieser Qualitätsgrößen im entsprechenden Ziehteilbereich kein direkter Rückschluss auf die Machbarkeit des Ziehteils möglich ist.

[0030] In Fig. 2 sind bereits teilweise in den einzelnen Fenstern für Teilbereiche 1 bis 8 die optimalen Arbeitspunkte mit kleinen Rauten sowie die voraussichtlichen Streubereiche mit Streubereichbalken eingezeichnet. Fig. 2 wurden somit bereits teilweise die ersten beiden Verfahrensschritte „Definition“ und „Optimierung“ nach Fig. 1 durchgeführt.

[0031] Zur Darstellung des dritten Verfahrensschritts „Restriktion“ aus Fig. 1 ist in Fig. 3 beispielhaft und schematisch das Prozessfenster des Ziehteilbereichs 5 herausgestellt mit der Lage des optimalen Arbeitspunkts und des voraussichtlichen Streubereichs. Mit dem in Verbindung mit Fig. 4 definierten Cpk-Wert wird im dritten Verfahrensschritt das Prozessfenster zum „zugelassenen Prozessfensterbereich“ eingeeengt, wobei diese Einengung entsprechend der Definition des Cpk-Werts von der geforderten Größe des Cpk-Werts abhängt. In Fig. 3 sind dazu beispielhaft Einengungen auf der Basis von zwei unterschiedlichen Cpk-Werten eingezeichnet, wobei ein größerer Cpk-Wert ( $Cpk_1$ ) zu einer größeren Einengung als ein kleinerer geforderter Cpk-Wert ( $Cpk_2$ ) führt.

[0032] In Fig. 4 ist grafisch die Lage einer oberen Grenze ( $T_o$ ) und unteren Grenze ( $T_u$ ) für Versagenskriterien (zum Beispiel Riss und Falte) angegeben sowie die Lage des optimierten Arbeitspunkts mit der Verteilung der Ergebniswerte als Glockenkurve, wobei der optimale Arbeitspunkt hier nicht in der Mitte des Fensterbereichs liegt. Hier sind mit  $\mu$  der Mittelwert und mit Sigma bzw.  $\delta$  die zugehörigen Standardabweichungen bezeichnet. Der Cpk-Wert ist mit der in Fig. 4 angegebenen Formel definiert, wobei hier ersichtlich die Lage des Arbeitspunkts im Prozessfenster berücksichtigt wird.

[0033] In Fig. 5 ist schematisch in einer Prinzipskizze die Cpk-abhängige Bestimmung und Kontrolle von Prozesskennwerten und deren zulässiger Variation in einem realen Blechumformprozess dargestellt. Im rechten Bereich ist dabei die Versuchsplanung in Verbindung mit einer Umformsimulation und/oder in Verbindung mit einer Tryout-Presse zum Erhalt der dargestellten Prozessfensterbereiche angegeben, welche zur Überwachung/Steuerung einer Großraumtransferpresse verwendet werden. Zudem wird entsprechend dem vierten Verfahrensschritt „Adaption“ nach Fig. 1 mit Hilfe einer automatischen Feststellung der Ziehteileigenschaften der reale Prozess gegebenenfalls korrigiert und adaptiert.

## ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### Zitierte Patentliteratur

- EP 1688196 B1 [0004]
- DE 4229155 C2 [0005]

### Zitierte Nicht-Patentliteratur

- <http://de.wikipedia.org/wiki/prozessf%C3%A4higkeitsindex> [0006]
- In der Literaturstelle „Dietrich E., Schulze A, statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation, Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-41 525-6“ [0009]

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Einrichtung eines Blechumformungsprozesses als Tiefziehprozess zur Herstellung von Tiefziehteilen, insbesondere von Karosseriebauteilen, wobei im Tiefziehprozess einer Presse Blechplatinen zugeführt werden, die zur Herstellung einer bestimmten Bauteilform mittels eines Ziehstempels in einer Matrize umgeformt und tiefgezogen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem ersten Verfahrensschritt ein Prozessfenster entsprechend einem Gutteilbereich erstellt wird, indem simulativ an einem virtuellen Tiefziehteil und/oder experimentell mit einem Realwerkzeug in der Art einer Tryout-Presse an einem realen Tiefziehteil die Prozessgrenzen der Ziehstufe bezüglich der Versagensgrenzen für Ziehteileigenschaften, insbesondere für Falten und Risse bestimmt werden, wobei die zu erwartenden dominanten Einflussgrößen auf die Ziehteilqualität berücksichtigt werden und die Prozessgrenzen auf eine oder eine Kombination von Ziehteileigenschaften und deren zugeordnete Ziehteilmessgrößen für jeden Ziehteilbereich gesondert definiert werden, dass in einem zweiten Verfahrensschritt wiederum simulativ oder experimentell anhand von zu erwartenden Streuungen von Prozess- und Werkstoffparametern in einem Prozessfenster die Lage eines optimalen Arbeitspunkts und die zu erwartende Streubreite bzw. Schwankungsbreite der Prozessantwort als Prozessergebnis für die betrachtete Ziehteileigenschaft eines Ziehteilbereichs bestimmt werden, und dass in einem dritten Verfahrensschritt ein Cpk-Wert für den Tiefziehprozess und/oder für in einem aktuellen Prozessfenster betrachtete Ziehteileigenschaften eines Ziehteilbereichs festgelegt wird und das Prozessfenster entsprechend dem Cpk-Wert zu einem „zugelassenen Prozessfensterbereich“ eingengt und/oder verschoben wird mit dem ein anlaufender Serienprozess geregelt und beurteilt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem vierten Verfahrensschritt anhand des realen Serienprozesses in einem sogenannten Postprocessing und anhand von realen Serien-Tiefziehteilen gegebenenfalls Korrekturen am vorab im sogenannten Preprocessing ermittelten „zugelassenen Prozessfensterbereich“ vorgenommen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für die Einhaltung eines angestrebten Prozessbetriebs im „zugelassenen Prozessfensterbereich“ eine Nachjustierung der Presseneinstellungen und/oder eine Anpassung der Platinenbeölung und/oder eine Optimierung des Platinenschnitts und/oder der Einsatz von im Werkzeug verbauter Aktorik und/oder die Verwendung eines anderen Platinenpaketes vorgenommen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Ziehteileigenschaften und als zugeordnete Ziehteilmessgrößen, anhand derer der Tiefziehprozess zu qualifizieren ist, Faltenbildungen und/oder Rissbildungen und/oder Einschnürungen und/oder Riefenbildungen und/oder Oberflächenfehler, wie Nachlaufkanten, Einfallstellen, Welligkeiten und/oder Blechdickenreduktionen und/oder plastische Dehnungen und/oder Formänderungen und/oder Verschiebungen betrachtet werden.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Flussdiagramm: Cpk-abhängige Bestimmung und Kontrolle von Prozesskennwerten und deren zulässiger Variation im Blechumformprozess

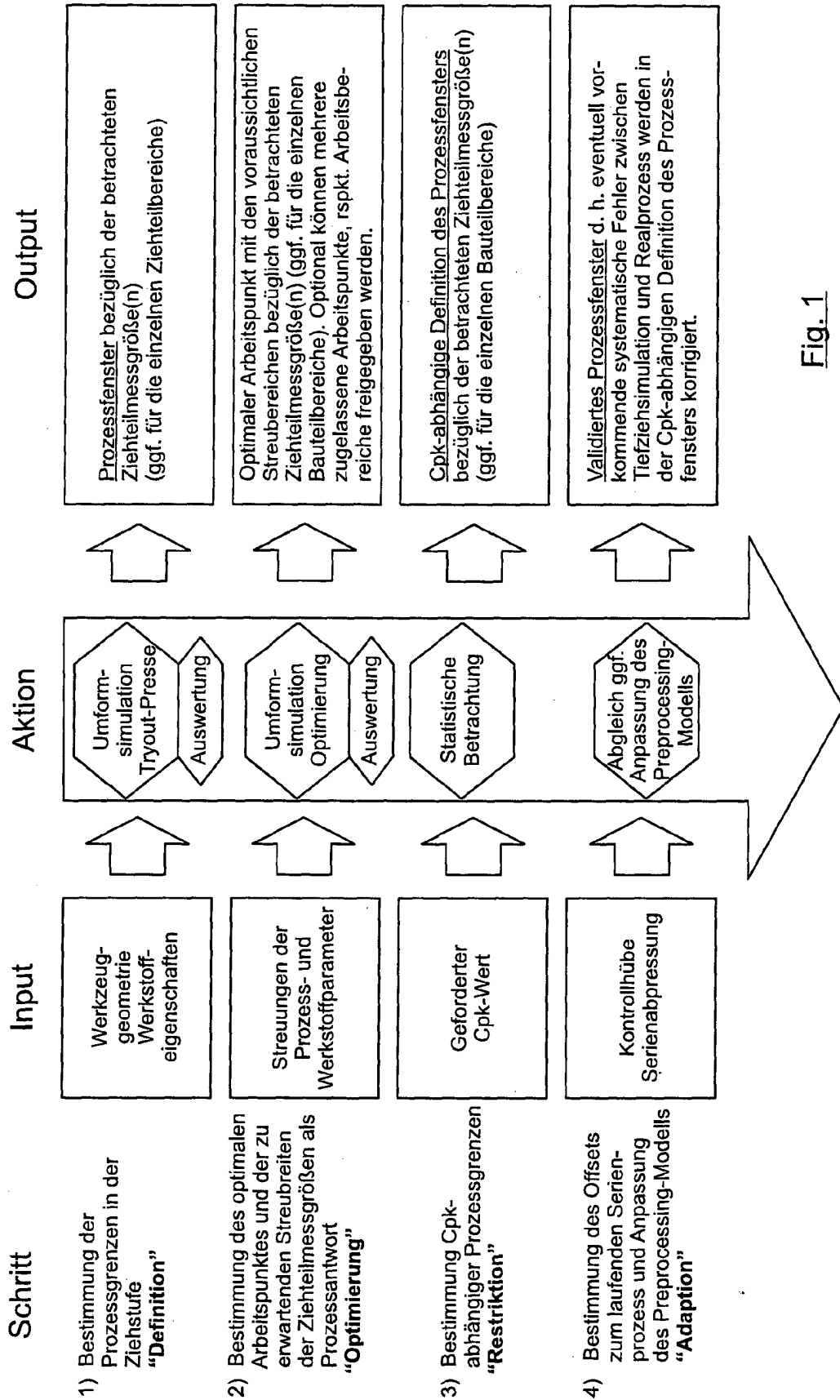


Fig. 1

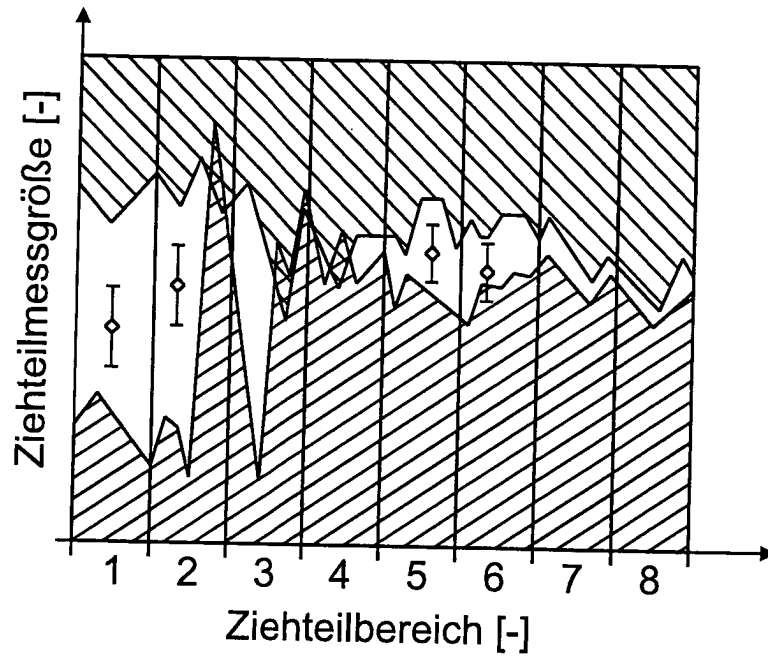


Fig. 2

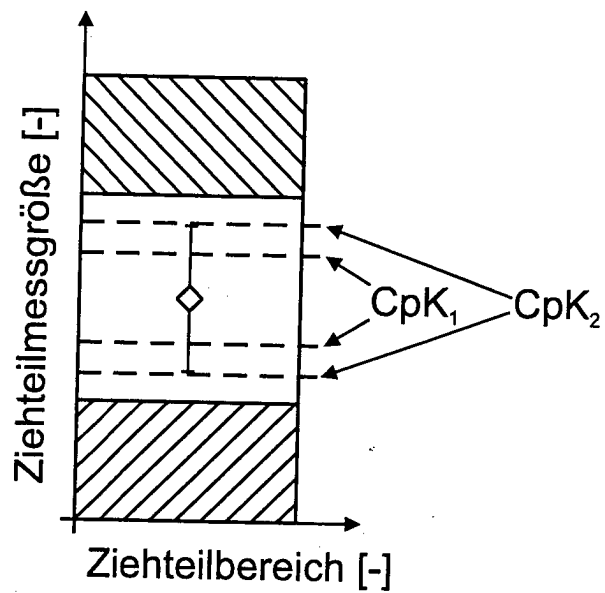
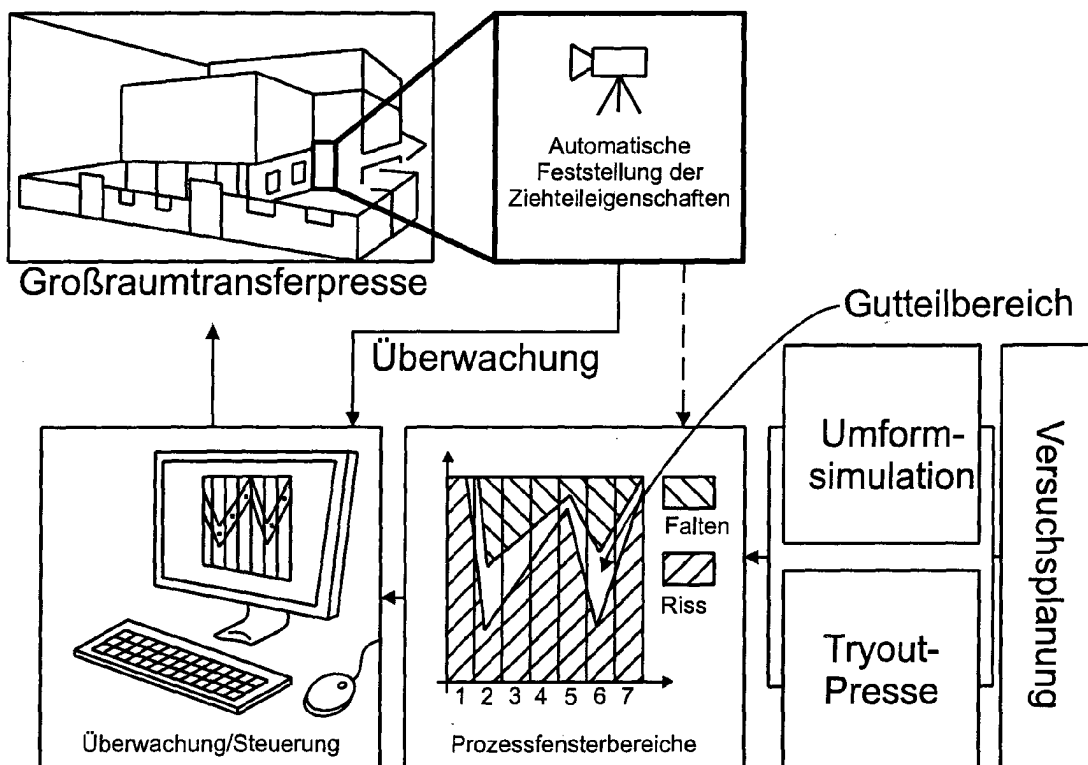
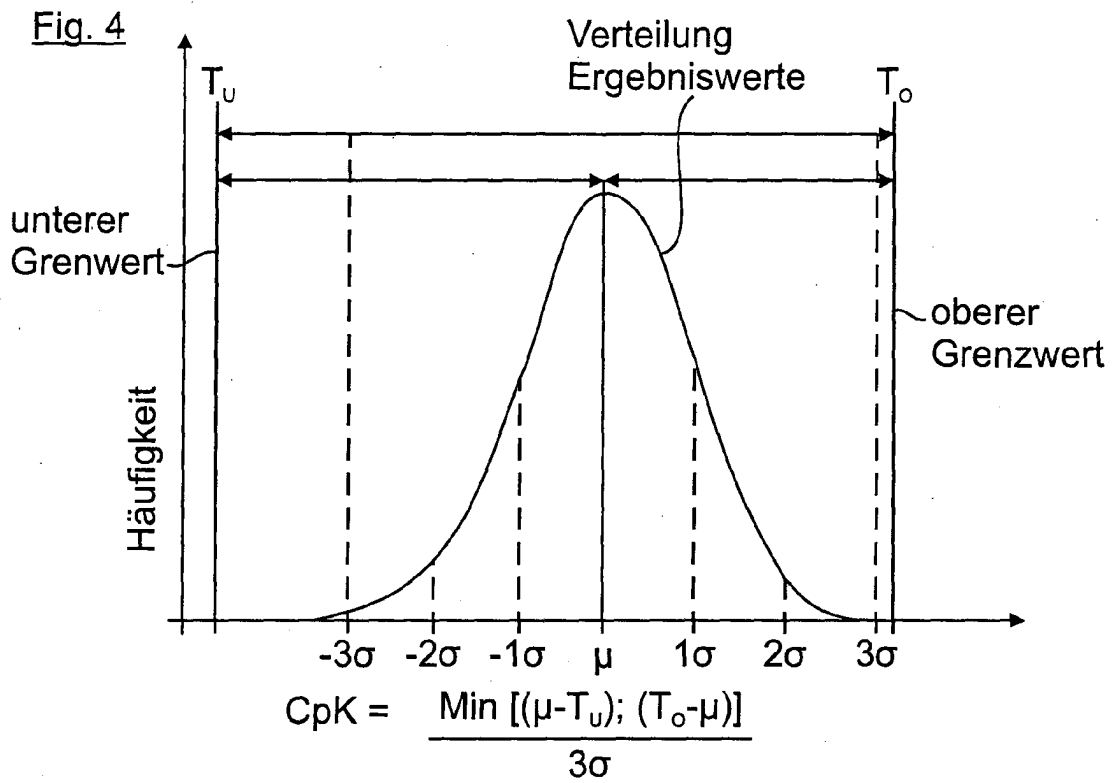


Fig. 3





**Fig. 5**