



(10) **DE 10 2014 015 088 A1** 2015.04.23

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 015 088.7**

(22) Anmeldetag: **11.10.2014**

(43) Offenlegungstag: **23.04.2015**

(51) Int Cl.: **B29C 45/76 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Daimler AG, 70327 Stuttgart, DE

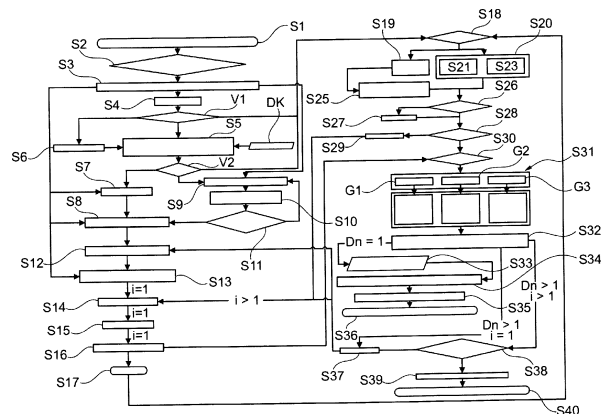
(72) Erfinder:
Langhein, Sascha, Dipl.-Ing., 22844 Norderstedt, DE; Piotrowski, Bartlomiej, 60435 Frankfurt, DE

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ermittlung einer Düsenpositionierung für die Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils, und Verfahren zur Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Düsenpositionierung für die Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils (1), mit folgenden Schritten: Bereitstellen eines Netzstrukturmodells (3) des herzustellenden Spritzgussbauteils (1); Auswählen von Oberflächenknoten (7) des Netzstrukturmodells (3) auf einer Anbindungsseite für wenigstens eine Spritzdüse (11, 13); Bestimmen von wenigstens einem Auswertungskriterium; Simulieren eines Spritzgussvorgangs zur Herstellung des Spritzgussbauteils (1) mit wenigstens einer, an einem der ausgewählten Oberflächenknoten (7) positionierten Spritzdüse (11, 13), und Erhalten eines Simulationsergebnisses; Auswerten des Simulationsergebnisses in Hinblick auf das wenigstens eine Auswertungskriterium, und Wiederholen des Simulierens und Auswertens für eine Mehrzahl von Oberflächenknoten (7), an denen die wenigstens eine Spritzdüse (11, 13) positioniert ist, wobei eine optimierte Düsenpositionierung durch Optimieren des wenigstens einen Auswertungskriteriums ermittelt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Düsenpositionierung für die Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils.

[0002] Aus der europäischen Patentanmeldung EP 1 640 134 A1 geht ein Spritzgussverfahren zum Herstellen von Kunststoffbauteilen hervor. Allgemein zeigt sich, dass bei der Herstellung derartiger Bauteile beim Erstarren des heißen, eingespritzten Kunststoffs Deformationen durch Schwindung und Verzug entstehen. Um diese Deformationen und zugleich den zum Einspritzen erforderlichen Druck möglichst gering zu halten, ist eine geeignete Auswahl der Anspritzstellen, also eine geeignete Düsenpositionierung für die Einspritzung des heißen Kunststoffs, von großer Bedeutung. Die Düsenpositionierung bestimmt dabei insbesondere das Fließverhalten und den Druckbedarf beim Einspritzen, die Lage von Bindenähten sowie eine Faserorientierung bei der Verwendung faserverstärkter Kunststoffe. Sie bestimmt somit das mechanische Verhalten des gefertigten Bauteils und nimmt Einfluss auf das Fugengebilde eines aus dem Bauteil gefertigten Endprodukts, beispielsweise eines Kraftfahrzeugs in dessen Interieur- und Exterieur-Bereich.

[0003] Die Düsenpositionierung erfolgt typischerweise – unter Zuhilfenahme geeigneter Simulationsprogramme – manuell durch einen Berechnungsingenieur. Dieser benötigt dazu sehr viel Zeit und Erfahrung. Insbesondere bei größeren und komplexeren Bauteilen und Werkzeugen scheidet eine weitestgehend automatisierte Ermittlung einer geeigneten Düsenpositionierung bisher aus, wobei hier ein erheblicher Zeitaufwand für einen Berechnungsingenieur nötig ist, um eine geeignete Lösung zu ermitteln.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung einer Düsenpositionierung und ein Verfahren zur Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.

[0005] Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0006] Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem ein Verfahren zur Ermittlung einer Düsenpositionierung für die Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils geschaffen wird, welches folgende Schritte aufweist: Es wird ein Netzstrukturmodell des herzustellenden Spritzgussbauteils bereitgestellt. Dies kann insbesondere bedeuten, dass ein außerhalb des erfindungsgemäßen Verfahrens – beispielsweise mittels eines externen Vernetzers – generiertes Netzstrukturmodell herangezogen, insbesondere eingelesen wird. Alternativ ist es auch möglich, dass das Netzstrukturmodell in einem eigenen Verfahrensschritt des erfindungsgemäßen Verfahrens erstellt wird. Es werden Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells auf einer Anbindungsseite für wenigstens eine Spritzdüse ausgewählt. Insbesondere werden dabei diejenigen Oberflächenknoten selektiert, welche auf der Anbindungsseite für die Spritzdüse angeordnet sind. Es wird wenigstens ein Auswertungskriterium bestimmt. Ein Spritzgussvorgang zur Herstellung des Spritzgussbauteils mit wenigstens einer, an einem der ausgewählten Oberflächenknoten positionierten Spritzdüse wird simuliert, und es wird ein Simulationsergebnis erhalten. Dieses wird in Hinblick auf das wenigstens eine Auswertungskriterium ausgewertet. Das Simulieren und Auswerten wird – vorzugsweise iterativ – für eine Mehrzahl von Oberflächenknoten auf der Anbindungsseite wiederholt, an denen die Spritzdüse jeweils positioniert ist. Die Iteration findet also bevorzugt unter Variation der Düsenpositionierung statt. Dabei wird eine optimierte Düsenpositionierung durch Optimieren des wenigstens einen Auswertungskriteriums ermittelt. Mithilfe des Verfahrens ist es möglich, den Aufwand zur Findung einer geeigneten Düsenpositionierung deutlich zu verringern und die Qualität des herzustellenden Bauteils hinsichtlich seiner Konturen und der reproduzierbaren Einstellung seiner mechanischen Eigenschaften zu verbessern. Dabei kann das Verfahren weitestgehend automatisiert durchgeführt werden, wobei ein deutlich verringerter Arbeitsaufwand für einen Berechnungsingenieur anfällt und nur noch eine geringe Zahl von Schritten manuell durchgeführt werden muss. Zugleich hängt das Ergebnis des Verfahrens weniger von den persönlichen Eigenschaften und/oder der Erfahrung des konkret mit dem Verfahren arbeitenden Berechnungsingenieurs ab, sodass reproduzierbarere Ergebnisse unabhängig vom konkret eingesetzten Personal möglich sind.

[0007] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird das Netzstrukturmodell aus einer technischen Zeichnung, insbesondere aus einem CAD-Modell des herzustellenden Kunststoff-Spritzgussbauteils erhalten. Es ist auf diese Weise sehr einfach, schnell und kostengünstig möglich, das Netzstrukturmodell bereitzustellen.

[0008] Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass ein 3D-Tetraedral-Netzstrukturmodell verwendet wird, wobei die Oberflächenknoten als Knotenkombinationen aus jeweils drei Knoten eines Tetraeder-Elements ermittelt werden, wobei die drei Knoten mit keinem Knoten eines anderen Tetraeder-Elements ein weiteres Tetraeder-Element bilden. Es werden also drei Knoten eines ersten Tetraeder-Elements ausgewählt, und es wird geprüft, ob diese Knoten mit irgendeinem Knoten irgendeines anderen, zweiten, von dem ersten verschiedenen Tetraeder-Element ein weiteres, drittes, von dem ersten und zweiten Tetraeder-Element verschiedenes Tetraeder-Element bilden. Stellt sich dabei heraus, dass für die ausgewählten drei Knoten des ersten Tetraeder-Elements kein zweites Tetraeder-Element derart existiert, dass die ausgewählten drei Knoten mit irgendeinem Knoten des zweiten Tetraeder-Elements ein drittes Tetraeder-Element bilden, kann festgestellt werden, dass die drei ausgewählten Knoten des ersten Tetraeder-Elements Oberflächenknoten sind. Dabei zeigt sich nämlich, dass drei Knoten eines Tetraeder-Elements, von denen wenigstens ein Knoten kein Oberflächenknoten ist, mit mindestens einem Knoten mindestens eines weiteren Tetraeder-Elements ein drittes Tetraeder-Element bilden können. Nur drei Knoten eines Tetraeder-Elements, welche alle Oberflächenknoten sind, bilden ausschließlich mit dem vierten Knoten desselben Tetraeder-Elements genau dieses Tetraeder-Element, wobei kein weiterer Knoten existiert, mit denen diese drei Knoten ein weiteres Tetraeder-Element bilden würden. Demnach können die Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells selektiert werden, indem zu jedem Tetraeder-Element jede mögliche Auswahl von drei der vier Knoten des Tetraeder-Elements daraufhin geprüft wird, ob die ausgewählte Auswahl von drei Knoten mit irgendeinem anderen Knoten, der nicht zu dem Tetraeder-Element der drei ausgewählten Knoten gehört, ein weiteres Tetraeder-Element bildet. Diese Ausgestaltung des Verfahrens führt mit einem sehr einfachen Algorithmus zu einer sicheren und eindeutigen Selektion der Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells.

[0009] Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, bei welcher die Anbindungsseite selektiert wird, indem zu jeder Auswahl von drei selektierten Oberflächenknoten die Lage eines vierten Knotens, welcher mit den drei Oberflächenknoten eine Tetraeder-Element bildet, relativ zu einer durch die drei Oberflächenknoten definierten Ebene abgefragt wird. Da der vierte Knoten eines Tetraeder-Elements, welches drei Oberflächenknoten aufweist, stets im Inneren, also im Volumen des Netzstrukturmodells liegt, ist diese Abfrage geeignet zur Ermittlung der Lage der betrachteten Oberfläche. Wird beispielsweise als Anbindungsseite eine Fläche festgelegt, auf welcher die X-Achse des herzustellenden Bauteils senkrecht steht, wobei die Anbindungsseite die X-Achse bei einem maximalen Wert der X-Koordinate des Bauteils schneidet, kann die Oberfläche der Anbindungsseite von der gegenüberliegenden Oberfläche des Bauteils dadurch unterschieden werden, dass der vierte Knoten eines Tetraeder-Elements, welches drei Oberflächenknoten auf der Anbindungsseite aufweist, stets bei kleineren X-Werten angeordnet ist, als die drei Oberflächenknoten. Demgegenüber ist auf der gegenüberliegenden Seite der vierte Knoten stets bei größeren X-Werten angeordnet, als die drei Oberflächenknoten eines zu ihm gehörenden Tetraeder-Elements.

[0010] Durch die zuvor beschriebene Auswahl der Oberflächenknoten einerseits und die hier beschriebene Definition der Anbindungsseite andererseits ist es also eindeutig möglich, sehr einfach und rein algorithmenbasiert eine – vorzugsweise zuvor manuell definierte – Anbindungsseite auszuwählen und Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells auf der Anbindungsseite zu selektieren.

[0011] Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass die Auswahl der Oberflächenknoten und die Bestimmung des wenigstens einen Auswertungskriteriums in einem Vorprozessierungsschritt durchgeführt wird. Das Simulieren des Spritzgussvorgangs wird vorzugsweise in einem Lösungsschritt mittels eines FEM-Lösealgorithmus (Finite Elemente Methode – FEM) durchgeführt, wobei das Auswerten in einem Nachprozessierungsschritt durchgeführt wird. Dies entspricht dem für sich genommen bekannten Schema einer Berechnung auf der Grundlage der Finite Elemente-Methode, wobei Bedingungen für die Berechnung in einem auch als Preprocessing bezeichneten Vorprozessierungsschritt durchgeführt werden, wobei die eigentliche Lösung der Gleichungen, welche der Finite Elemente-Methode zugrunde liegen, in einem Lösungsschritt mittels eines sogenannten FEM-Solvers durchgeführt wird, wobei anschließend eine Auswertung des Ergebnisses, welches der Solver ermittelt hat, in einem auch als Postprocessing bezeichneten Nachprozessierungsschritt durchgeführt wird. Insofern kann das hier beschriebene Verfahren in einfacher Weise auf bereits bekannte Strukturen von Berechnungen auf der Grundlage der Finite Elemente-Methode zurückgreifen, sodass es insbesondere einfach zu implementieren und für auf diesem Gebiet erfahrene Berechnungsingenieure leicht zu verstehen und anzuwenden ist.

[0012] Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass eine optimierte Positionierung einer einzelnen Spritzdüse ermittelt wird. Dies spricht eine Ausführungsform des Verfahrens an, in welcher ein Spritzgussbauteil durch Spritzgießen unter Verwendung nur einer Spritzdüse hergestellt wird. Der Rechenaufwand zur Ermittlung einer geeigneten Positionierung einer Einzeldüse ist dabei

vergleichsweise gering. Es ist daher bevorzugt vorgesehen, dass die ausgewählten Oberflächenknoten auf der Anbindungsseite gemäß einem vorherbestimmten Raster der iterativen Simulation zugrunde gelegt werden. Insbesondere wird dabei die Anbindungsseite in ein Raster unterteilt, welches zunächst gröber ausgebildet ist, also eine geringere Zahl von Oberflächenknoten mit einem größeren Abstand zwischen denselben aufweist. Das Verfahren wird dann – wie zuvor beschrieben – iterativ durchgeführt, wobei eine optimale Position der Spritzdüse innerhalb des groben Rasters ausgewählt wird. Danach wird um den derart gefundenen, optimalen Oberflächenknoten herum ein feineres Raster von Oberflächenknoten gewählt, wobei die so gewählten Oberflächenknoten geringere Abstände voneinander aufweisen als in dem zuvor gewählten, gröberen Raster. Das Verfahren wird dann um den zunächst ermittelten, optimalen Oberflächenknoten erneut iterativ durchgeführt, und es wird ein neuer, optimaler Anbindungspunkt, mithin Oberflächenknoten für die Anbindung der Spritzdüse, ermittelt. Das Raster kann dann wiederum feiner gewählt werden, wobei dies iterativ so lange durchgeführt werden kann, bis entweder ein vorherbestimmtes Abbruchkriterium für die Iteration erfüllt ist, oder bis das Raster derart fein gewählt ist, dass alle Oberflächenknoten in einem bestimmten Bereich um den in dem vorhergehenden Schritt ermittelten, optimalen Oberflächenknoten in die Rasterung einbezogen sind. Eine nochmalige Verfeinerung des Rasters ist dann nicht mehr möglich, weil die maximale Auflösung des Netzstrukturmodells erreicht ist. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass das zunächst gewählte, grobe Raster vorzugsweise gröber, insbesondere viel gröber ist, als es der Auflösung des Netzstrukturmodells entspricht. Es ist auf diese Weise mit relativ geringem Rechenaufwand möglich, in relativ wenigen Iterationen eine optimierte Positionierung für die einzelne Spritzgussdüse zu finden. Dabei werden bevorzugt in jedem Verfahrensschritt alle Oberflächenknoten, die zu dem gewählten Raster gehören, als mögliche Anbindungspunkte berechnet. Die Iteration des Verfahrens wird also in jedem Rasterschritt derart durchgeführt, dass die Spritzdüse versuchsweise an jedem der zu dem gewählten Raster gehörenden Oberflächenknoten angeordnet wird, wobei mit dieser Positionierung der Spritzdüse eine Simulation und eine anschließende Auswertung durchgeführt wird. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass kein zu dem gewählten Raster gehörender Oberflächenknoten ausgelassen wird, sodass das tatsächliche Optimum der Positionierung der einzelnen Spritzdüse in dem gewählten Raster und auch global mit hoher Sicherheit gefunden werden kann.

[0013] Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass eine optimierte Positionierung einer Mehrzahl von Spritzdüsen ermittelt wird. Dies betrifft eine Ausgestaltung des Verfahrens, bei welcher das Spritzgussbauteil durch Einspritzen von Kunststoff mit mehr als einer Düse hergestellt wird. Während es prinzipiell möglich ist, auch hier eine optimale Positionierung der Düsen durch die zuvor für eine einzelne Düse beschriebene Rastermethode zu finden, bedeutet dies einen ganz erheblichen Rechenaufwand. Um diesen zu reduzieren ist bevorzugt vorgesehen, dass die Positionierung der Spritzdüsen entlang einer vorherbestimmten Positionierungskurve variiert wird. Die Düsenpositionierung wird dabei auf der Anbindungsseite eingeschränkt auf die – vorzugsweise eindimensionale – Positionierungskurve. Der Rechenaufwand wird auf diese Weise deutlich verringert, wobei es trotzdem – bei geeigneter Wahl der Positionierungskurve – ohne weiteres möglich ist, eine nicht nur relativ, sondern auch absolut günstige und vorzugsweise optimale Position für die Mehrzahl von Spritzdüsen zu finden.

[0014] Vorzugsweise wird die Positionierungskurve ausgewählt, indem – insbesondere manuell durch den Berechnungsingenieur – geeignete Oberflächenknoten auf der Anbindungsseite als Anbindungspunkte für die Spritzdüsen ausgewählt werden. Nach dieser Auswahl geeigneter Oberflächenknoten ist es gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens möglich, an die ausgewählten Oberflächenknoten eine mathematischen Anpassungsfunktion anzupassen, um die Positionierungskurve zu erhalten. Dabei kann beispielsweise eine Interpolation nach Newton, eine kubische Spline-Interpolation oder eine andere geeignete Interpolationsmethode angewendet werden.

[0015] Gemäß einer alternativen Ausgestaltung des Verfahrens ist es möglich, dass der Berechnungsingenieur anhand seiner eigenen Anschauung der ausgewählten Oberflächenknoten eine mathematische Funktion rät und anschließend diese geratene Funktion beispielsweise mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate an die ausgewählten Oberflächenknoten anpasst. Beispielsweise ist es möglich, dass der Berechnungsingenieur feststellt, dass die durch ihn ausgewählten Oberflächenknoten versuchsweise auf einer Exponentialkurve liegen. Er kann dann eine Exponentialfunktion definieren und diese an die ausgewählten Oberflächenknoten anpassen.

[0016] Bevorzugt ist allerdings vorgesehen, dass an die ausgewählten Oberflächenknoten nicht die geratene mathematische Funktion selbst, sondern deren Taylor-Entwicklung angepasst wird, wobei diese nach einer geeigneten Anzahl von Termen abgebrochen werden kann. Dabei obliegt es dem Berechnungsingenieur zu bestimmen, nach welchem Term die Taylor-Entwicklung der anzupassenden Funktion abgebrochen wird. Eine

Anpassung einer Taylor-Entwicklung statt der eigentlich gewählten Funktion an die als geeignet ausgewählten Oberflächenpunkte reduziert weiter den mit dem Verfahren verbundenen Rechenaufwand.

[0017] Im Rahmen der Simulation ist es bei einer Verwendung einer Mehrzahl von Spritzdüsen möglich, eine kaskadierte, eine sequenzielle und/oder eine konventionelle Ansteuerung der Spritzdüsen zu simulieren. Dabei spricht eine konventionelle Ansteuerung an, dass alle Spritzdüsen zur gleichen Zeit geöffnet werden, sodass gleichzeitig Kunststoff aus allen Düsen in eine Spritzgusskavität strömt. Eine kaskadierte Ansteuerung der Spritzdüsen spricht an, dass zunächst eine Spritzdüse geöffnet wird, wobei weitere Spritzdüsen jeweils dann geöffnet werden, wenn die Kunststoffschmelze diese Spritzdüsen erreicht. Eine sequenzielle Ansteuerung der Spritzdüsen spricht an, dass verschiedene Spritzdüsen gemäß einer vorherbestimmten Reihenfolge, abhängig von einem Zeitfortschritt, einem Füllungsfortschritt der Spritzgusskavität, einem verbleibenden Restvolumen in einer Spritzgusschnecke, welche die Düsen mit Kunststoff versorgt, oder einem anderen geeigneten Maß, geöffnet werden. Diese verschiedenen Arten einer Mehrdüsenansteuerung sind für sie genommen bekannt, sodass hierauf nicht näher eingegangen wird.

[0018] Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass das Auswertungskriterium ausgewählt ist aus einer Gruppe bestehend aus einem Einspritzdruck, insbesondere einem zeitlichen Verlauf des Einspritzdrucks und/oder einem maximalen Einspritzdruck und/oder einer Höhe von zeitlich lokalen Maxima des Einspritzdrucks; einem Verzug, insbesondere einem lokalen Verzug, einem globalen Verzug und/oder einem gleichmäßigen Verzug; einer Volumenschwindung, insbesondere einer lokalen Volumenschwindung, einer globalen Volumenschwindung und/oder einer gleichmäßigen Volumenschwindung; einem Füllverhalten der Spritzgusskavität, insbesondere einem balancierten Füllverhalten, einer Lage von Bindenähten in dem entstehenden Bauteil, und/oder einer Füllzeit; einem Nachdruckprofil; einer Nachdruckzeit; einem Temperaturverlauf, insbesondere einem räumlichen oder zeitlichen Temperaturverlauf; einer Fließfronttemperatur des Kunststoffs, insbesondere einem zeitlichen Verlauf der Fließfronttemperatur; und einer Scherrate des Kunststoffs beim Füllen. Wenigstens eines dieser Auswertungskriterien wird vorzugsweise manuell von dem Berechnungsingenieur ausgewählt, wobei dieser vorzugsweise zu wenigstens einem der Auswertungskriterien einen Grenzwert oder eine Mehrzahl von Grenzwerten, beispielsweise einen zulässigen Bereich, definiert, welche einzuhalten sind. Besonders bevorzugt wird/werden als Auswertungskriterium/Auswertungskriterien der Einspritzdruck und/oder der Verzug ausgewählt. Dabei ist es möglich, dass wenigstens eines dieser beiden Auswertungskriterien unter Nebenbedingungen optimiert wird, wobei wenigstens eines der weiteren genannten Kriterien als Nebenbedingung im Bereich vorherbestimmter Grenzen liegen muss.

[0019] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird der Einspritzdruck, insbesondere der maximale Einspritzdruck, durch Variation der Spritzdüsenpositionierung minimiert. Alternativ oder zusätzlich wird bevorzugt der lokale oder globale Verzug des erzeugten Kunststoff-Spritzgussbauteils durch Variation der Düsenpositionierung minimiert.

[0020] Insbesondere im Rahmen der Verzugsauswertung ist es möglich, dass nicht der gesamte, globale Verzug des entstehenden Bauteils betrachtet wird, sondern dass die Auswertung eingeschränkt wird auf lokale Bereiche, die in Hinblick auf den Verzug ausgewertet werden. Dies reduziert die Rechenzeit des Verfahrens für die Verzugsauswertung und damit die mit dem Verfahren verbundenen Kosten. Es hat sich insoweit herausgestellt, dass nicht bei jedem Bauteil der globale Verzug eine relevante Auswertungsgröße darstellt, wobei bestimmte Bereiche des Bauteils unkritisch in Hinblick auf einen auftretenden Verzug sind, während andere Bauteilbereiche, insbesondere Anbindungsstellen an benachbarte Bauteile, beispielsweise eines Kraftfahrzeugs, höchstens einem geringen Verzug unterliegen dürfen. Während die Auswertung des Verzugs lokal erfolgen kann, wird der Verzug jedoch bevorzugt global berechnet, sodass insoweit dann keine Rechenzeit eingespart wird.

[0021] Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass bestimmte Knoten des Netzstrukturmodells für die Auswertung in Hinblick auf das wenigstens eine Auswertungskriterium ausgewählt werden. Wie bereits zuvor ausgeführt, kann dies die Rechenzeit des Verfahrens und die damit verbundenen Kosten reduzieren, wobei – abhängig von dem Bauteil und abhängig von dem gewählten Auswertungskriterium – nicht alle Knoten des Netzstrukturmodells von gleichem Interesse sind. Insbesondere ist es möglich, dass eine Verzugsauswertung nur am Ort von ausgewählten Knoten durchgeführt wird. Bevorzugt ist es möglich, für die Auswertung in Hinblick auf das Auswertungskriterium eine gerade Kante – insbesondere mit endlicher Breite –, eine gerade Ebene – insbesondere mit endlicher Dicke – und/oder eine runde Ebene – insbesondere eine Scheibe mit endlichem Radius und endlicher Dicke – auszuwählen. Auch eine Mehrzahl derart definierter Auswertungsgeometrien ist möglich. Eine gerade Kante wird insbesondere ausgewählt in Bereichen, welche an benachbarte Bauteile angrenzen, wobei eine hohe Genauigkeit gerade

auch für die optische Wertigkeit des entstehenden Bauteilensembles relevant ist, wie dies beispielsweise bei einer Zusammenstellung von Interieur- oder Exterieurbauteilen eines Kraftfahrzeugs der Fall ist, wo miteinander fluchtende Linien für einen optisch hochwertigen Gesamteindruck wichtig sind. Gerade Ebenen können insbesondere relevant sein in Hinblick auf für die Befestigung und auch die mechanische Stabilität notwendige Toleranzen im Übergangsbereich zu benachbarten Bauteilen. Runde Ebenen können insbesondere um Anbindungspunkte, beispielsweise Verschraubungsstellen oder andere Orte für Befestigungselemente herum definiert werden, wobei gerade hier aus Stabilitätsgründen geringe Toleranzen insbesondere in Hinblick auf den Verzug zu fordern sind.

[0022] Es hat sich allerdings gezeigt, dass auch bei einer Heranziehung des Einspritzdrucks als Auswertungskriterium eine Auswahl bestimmter Knoten des Netzstrukturmodells für die Auswertung sinnvoll sein kann. Insbesondere kann es hierbei reichen, Knoten aus der Mitte des Netzstrukturmodells für die Auswertung auszuwählen, weil der Einspritzdruck in Randbereichen des herzustellenden Bauteils stets höher ist als in der Mitte. Selbstverständlich ist es umgekehrt auch möglich, Randknoten auszuwählen, weil der Einspritzdruck in mittleren Bereichen des Bauteils stets geringer ist als in Randbereichen. Die Möglichkeit einer Auswahl bestimmter Knoten des Netzstrukturmodells für die Auswertung in Hinblick auf das wenigstens eine Auswertungskriterium ist also keinesfalls einschränkend auf die Verzugsauswertung zu verstehen, sondern ist sehr wohl auch bei einer Anwendung anderer Auswertungskriterien möglich.

[0023] Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells manuell als mögliche Anbindungspunkte ausgewählt werden. Die Rechenzeit des Verfahrens kann reduziert werden, indem durch den Berechnungsingenieur bestimmte Oberflächenknoten auf der Anbindungsseite des Netzstrukturmodells vorselektiert werden, die als Anbindungspunkte infrage kommen. Die anderen, durch den Berechnungsingenieur nicht selektierten Oberflächenknoten können dann bei der Berechnung außer Acht gelassen werden. Dabei ist es möglich, dass bei einer Simulation der Verwendung einer einzelnen Spritzdüse bestimmte Oberflächenknoten auf der Anbindungsseite ausgewählt werden. Bei der Simulation einer Verwendung einer Mehrzahl von Spritzdüsen werden bevorzugt Oberflächenknoten manuell ausgewählt, die auf der Positionierungskurve liegen.

[0024] Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass manuell Oberflächenknoten als nicht mögliche Anbindungspunkte verworfen werden. Auch dies kann gezielt auf der gesamten Anbindungsseite oder auf der Positionierungskurve erfolgen.

[0025] Den hier vorgestellten Ausführungsformen des Verfahrens liegt der Gedanke zugrunde, dass entweder nur bestimmte Oberflächenknoten überhaupt für eine Spritzdüsenpositionierung infrage kommen, oder dass bestimmte Oberflächenknoten generell nicht für die Positionierung einer Spritzdüse infrage kommen, beispielsweise weil hier eine zu geringe Wandstärke des entstehenden Bauteils, eine Positionierung eines Schiebers in der Spritzgusskavität, oder eine andere, dem Berechnungsingenieur bekannte aber algorithmisch kaum zu erfassende Bedingung vorliegt, welche einen entsprechenden Oberflächenknoten zur Anbindung einer Spritzdüse ungeeignet erscheinen lässt. Eine derart getroffene Unterauswahl von Oberflächenknoten kann also in physikalisch sinnvoller Weise die Rechenzeit reduzieren, ohne dass die Gefahr besteht, die optimale Positionierung der Spritzdüse(n) könnte gegebenenfalls nicht gefunden werden.

[0026] Alternativ ist es selbstverständlich möglich, dass bei einer Ausführungsform des Verfahrens alle Oberflächenknoten auf der Anbindungsseite oder auf der Positionierungskurve in die Berechnung einbezogen werden. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn keine objektiven und/oder für den Berechnungsingenieur erkennbaren Kriterien zur Selektion bestimmter Oberflächenknoten existieren.

[0027] Schließlich wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass bei einer Optimierung einer Positionierung einer Mehrzahl von Spritzdüsen wenigstens eine Spritzdüse bezüglich ihrer Position festgehalten wird. Auch dadurch kann die Rechenzeit gegebenenfalls reduziert werden, ohne dass Nachteile in Hinblick auf das zu findende Optimum in Kauf genommen werden müssten. Beispielsweise kann eine zentrale Spritzdüse als fixe Spritzdüse ausgewählt werden, wobei andere, dezentral angeordnete Spritzdüsen bezüglich ihrer Positionierung optimiert werden. Insbesondere bei der Simulation einer kaskadierten oder sequenziellen Ansteuerung der Spritzdüsen ist es möglich, eine zuerst zu öffnende, jedenfalls insoweit zentrale Spritzdüse als fixe Spritzdüse zu definieren, wobei die anderen, zu späteren Zeiten zu öffnenden Spritzdüsen bezüglich ihrer Positionierung optimiert werden. Dabei ist es durchaus möglich, dass die Position der zentralen Spritzdüse entweder für den Berechnungsingenieur in offensichtlich vorteilhafter Weise gewählt werden kann, oder dass diese Position für das Ergebnis, also die Eigenschaften des herzustellenden Spritzgussbauteils, weniger relevant ist, als die Positionen der anderen Spritzdüsen.

[0028] Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Verfahren zur Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils geschaffen wird, welches folgende Schritte aufweist: Es wird eine optimierte Positionierung von wenigstens einer Spritzdüse durch eine der zuvor beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens zur Ermittlung der Düsenpositionierung ermittelt, und das Kunststoff-Spritzgussbauteil wird durch Spritzgießen unter Verwendung der ermittelten, optimierten Positionierung der wenigstens einen Spritzdüse hergestellt. Dabei ergeben sich in Hinblick auf den Optimierungsschritt die Vorteile, die bereits in Verbindung mit dem zuvor beschriebenen Verfahren erläutert wurden. Darüber hinaus ergibt sich für die Herstellung des Kunststoff-Spritzgussbauteils der Vorteil, dass dieses mit einer reproduzierbar ermittelten, optimierten Spritzdüsenposition hergestellt werden kann, sodass es reproduzierbare, günstige mechanische Eigenschaften, insbesondere eine günstige Lage von Bindenähten sowie gegebenenfalls – bei der Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen – eine geeignete Faserorientierung aufweist.

[0029] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher beschrieben. Dabei zeigen:

[0030] Fig. 1 eine diagrammatische Darstellung einer Ausführungsform eines Verfahrens zur Ermittlung einer Düsenpositionierung nach Art eines Flussdiagramms;

[0031] Fig. 2 eine schematische Detaildarstellung des Verfahrensschritts der Auswahl von Oberflächenknoten eines Netzstrukturmodells;

[0032] Fig. 3 eine schematische Detaildarstellung des Schritts einer Auswahl einer Düsenpositionierung für eine Mehrzahl von Spritzdüsen entlang einer Positionierungskurve, und

[0033] Fig. 4 eine schematische Darstellung einer möglichen Auswahl von Auswertungsbereichen für die Auswertung in Hinblick auf ein Auswertungskriterium.

[0034] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Verfahrens zur Ermittlung einer Düsenpositionierung für die Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils nach Art eines Flussdiagramms. Dabei wird in einem ersten Schritt S1 ein Netzstrukturmodell, insbesondere ein 3D-Tetrahedral-Netzstrukturmodell des herzustellenden Spritzgussbauteils erzeugt. Dabei werden bevorzugt zugleich definierte Materialdaten für das Spritzgussbauteil bereitgestellt. Außerdem wird in dem Schritt S1 bevorzugt eine Untersuchungsmethodik ausgewählt, wobei insbesondere spezifiziert wird, ob Randbedingungen und/oder Anforderungen, die im Rahmen des Verfahrens zu prüfen sind, vollautomatisch nach vorherbestimmten Kriterien durch die Auswertungssoftware spezifiziert, halbautomatisch rechnergestützt durch Interaktion des Programms mit einem Benutzer, insbesondere einem Berechnungsingenieur, vorgegeben, oder aber vollständig manuell durch den Benutzer eingegeben werden. Alle drei Möglichkeiten sind im Rahmen des Verfahrens bevorzugt möglich.

[0035] In einem zweiten Schritt S2 wird eine Anbindungsseite für wenigstens eine Spritzdüse definiert, wobei hierfür insbesondere eine positive oder negative kartesische Koordinate, also eine positive oder negative X-, Y- oder Z-Richtung, auf welcher die Anbindungsseite bevorzugt senkrecht steht, ausgewählt wird. Dies kann insbesondere vollautomatisch, halbautomatisch oder manuell nach den konkreten Gegebenheiten, insbesondere der Geometrie der Spritzgusskavität zur Herstellung des Bauteils und weiterer Anforderungen, beispielsweise der zu erzeugenden Wandstärken, der Anordnung von Schiebern in der Kavität und/oder anderen Anforderungen geschehen.

[0036] In einem dritten Schritt S3 werden Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells auf der Anbindungsseite ermittelt und zur weiteren Verwendung als Positionierungspunkte für die wenigstens eine Spritzdüse im Rahmen des Verfahrens ausgewählt. Dies erfolgt bevorzugt nach einem Verfahren, das insbesondere anhand von Fig. 2 noch näher erläutert wird.

[0037] Wie in Fig. 1 dargestellt, ist es nun möglich, dass das Programm ausgehend von dem Schritt S3 einige Verfahrensschritte überspringt, worauf nicht im Detail eingegangen wird. Vorzugsweise wird das Verfahren in einem vierten Schritt S4 fortgesetzt, indem eine Einspritzart ausgewählt wird, wobei sich das Verfahren gemäß der gewählten Einspritzart in einer ersten Verzweigung V1 verzweigt. Dabei kann insbesondere – wie hier dargestellt – eine kaskadierte, sequenzielle oder konventionelle Einspritzung gewählt werden. Zur Definition dieser Begriffe wird auf die vorangegangenen Ausführungen oben verwiesen. Zur Vereinfachung der Darstellung wird im Folgenden lediglich einerseits auf die kaskadierte und andererseits auf die konventionelle Einspritzung eingegangen, es wird jedoch hervorgehoben, dass auch eine sequenzielle Einspritzung ausgewählt werden kann. Dabei zeigt sich, dass eine konventionelle Einspritzung insbesondere dann gewählt wird, wenn eine

einfache Geometrie für das herzustellende Kunststoff-Spritzgussbauteil erzeugt werden soll und/oder wenn mit einer einzigen Spritzdüse gearbeitet wird.

[0038] Wird die konventionelle Einspritzung gewählt, wird das Verfahren in einem fünften Schritt S5 fortgesetzt, wobei hier eine Anzahl der verwendeten Spritzdüsen ausgewählt wird. Dabei kann bei konventioneller Einspritzung die Anzahl der Spritzdüsen gleich eins gewählt werden, wobei sie jedoch auch größer als eins sein kann. Bei kaskadierter Einspritzung muss die Anzahl der Düsen zwangsläufig größer als eins gewählt werden. Die Düsen werden im Übrigen bevorzugt aus einem vorherbestimmten Düsenkatalog DK ausgewählt, der eine Anzahl vordefinierter Spritzdüsen insbesondere mit vorherbestimmter Geometrie umfasst, die zur Simulation des Verfahrens bedarfsgerecht auswählbar sind.

[0039] Wird eine kaskadierte Einspritzung gewählt, wird das Verfahren ausgehend von der ersten Verzweigung V1 bevorzugt in einem sechsten Schritt S6 fortgesetzt, wobei hier – zur Vereinfachung des Verfahrens und zum Einsparen von Rechenzeit-Spritzdüsen spezifiziert werden, die im Rahmen des Verfahrens bezüglich ihrer Position festgehalten werden. Es erfolgt demnach eine Auswahl von fixen Düsen. Dabei kann es teilweise nötig sein, solcherlei Beschränkungen vorzunehmen, beispielsweise weil die Anordnung von Schiebern, Kühlkanälen oder anderen, ähnlichen Komponenten im Spritzgusswerkzeug eine Variation der Position bestimmter Düsen als nicht möglich erscheinen lässt.

[0040] Nach der Auswahl der fixen Spritzdüsen wird das Verfahren dann wiederum – ausgehend von dem sechsten Schritt S6 – in dem bereits beschriebenen, fünften Verfahrensschritt S5 fortgesetzt.

[0041] Das Verfahren verzweigt sich nun in einer zweiten Verzweigung V2 abhängig davon, ob es für genau eine Spritzdüse oder für eine Mehrzahl von Spritzdüsen durchgeführt wird.

[0042] Wird das Verfahren für genau eine Spritzdüse durchgeführt, erfolgt in einem siebten Schritt S7 die Auswahl einer Schrittweite zur Variation der Düsenposition an den Oberflächenknoten der Anbindungsseite. Dies entspricht der Auswahl eines Rasters für die ersten iterativen Durchläufe des Verfahrens. Dabei wird zunächst ein gröberes Raster, also eine größere Schrittweite gewählt, während in nachfolgenden Durchläufen des Verfahrens bevorzugt eine geringere Schrittweite gewählt wird. Auch in diesem Zusammenhang wird auf die obigen Ausführungen hierzu verwiesen.

[0043] Es ist optional möglich, dass nun in einem achten Schritt S8 eine – insbesondere manuelle – Auswahl vordefinierter Anbindungsbereiche erfolgt, wobei insbesondere durch einen Benutzer Oberflächenknoten selektiert werden können, die besonders für eine Spritzdüsenanbindung geeignet erscheinen. Dadurch kann die Durchführung des Verfahrens vereinfacht und die Rechenzeit verringert werden. In gleicher Weise ist es auch möglich, dass durch den Benutzer bestimmte Oberflächenknoten manuell ausgeschlossen werden, weil hier aus bestimmten Gründen eine Anbindung der Spritzdüse nicht möglich erscheint. Insoweit kann in dem achten Schritt S8 entweder eine positive oder eine negative Auswahl durchgeführt werden, wobei auch eine positive mit einer negativen Auswahl kombiniert werden kann.

[0044] Wird das Verfahren gemäß der zweiten Verzweigung V2 mit einer Mehrzahl von Spritzdüsen durchgeführt, wird es in einem neunten Schritt S9 fortgesetzt, in dem – vorzugsweise manuell durch den Benutzer – spezifische Oberflächenpunkte ausgewählt werden, welche insgesamt einen Pfad definieren, entlang derer die Position der Spritzdüsen variiert wird. Es ist möglich, dass der Benutzer zugleich eine mathematische Funktion spezifiziert, welche diesen Pfad zumindest näherungsweise beschreibt.

[0045] In einem zehnten Schritt S10 werden die ausgewählten Oberflächenknoten entweder mittels einer Interpolation, beispielsweise nach Art einer Newtonschen Interpolation oder einer kubischen Spline-Interpolation angefüttet, um eine Beschreibung des Pfads zu erhalten, oder die durch den Benutzer vorgegebene, mathematische Funktion wird – vorzugsweise in Form ihrer nach einer geeigneten Anzahl von Termen abgebrochenen Taylor-Entwicklung oder Taylorreihe – an die ausgewählten Oberflächenknoten angepasst. In jedem Fall wird auf diese Weise eine mathematische Funktion erhalten, welche den Variationspfad zur Anbindung der Mehrzahl von Spritzdüsen beschreibt.

[0046] In einem elften Schritt S11 wird geprüft, ob die zuvor ermittelte, approximierende Funktion in dem Sinne sinnvoll gewählt ist, dass die Spritzdüsen tatsächlich hier positioniert werden können. Dies kann beispielsweise ohne weiteres manuell anhand einer grafischen Darstellung durch den Benutzer geprüft werden, wobei ein das Verfahren durchführendes Computerprogramm dem Benutzer vorzugsweise eine entsprechende grafische Darstellung präsentiert. Dabei kann der Benutzer insbesondere prüfen, ob einer Positionierung der Spritzdüsen

entlang des gewählten Pfades bestimmte Gründe entgegenstehen, beispielsweise weil hier eine Wandstärke des zu erzeugenden Bauteils zu dünn ist oder weil Schieber und/oder Kühlkanäle im Weg sind. Liegt ein solcher Hinderungsgrund für die entsprechende Wahl des Pfades vor, kann dieser vorzugsweise durch den Benutzer am Ort des Hindernisses etwas versetzt werden. Besonders bevorzugt ist dazu vorgesehen, dass der Benutzer den Pfad manuell leicht verschieben und dadurch die entsprechende mathematische Funktion geringfügig ändern kann. Dies ist besonders einfach möglich, wenn es sich hierbei um eine Newtonsche Interpolation oder eine kubische Spline-Interpolation handelt, wobei der Benutzer insbesondere die Auswahl der von dem Pfad umfassten Oberflächenknoten geringfügig verändern kann.

[0047] Wird in dem elften Schritt S11 schließlich festgestellt, dass der gewählte Pfad zur Düsenpositionierung geeignet ist, wird das Verfahren nunmehr wiederum in dem bereits beschriebenen, achten Schritt S8 fortgesetzt.

[0048] Für den Fall, dass das Verfahren für eine Mehrzahl von Spritzdüsen durchgeführt wird, erfolgt in einem zwölften Schritt S12 eine Initialisierung der Düsenpositionen für die Spritzdüsen. Es werden also Startwerte festgelegt, beziehungsweise Startpositionen oder Oberflächenknoten, an denen die Spritzdüsen initial positioniert werden, wobei eine erste Iteration der Simulation an diesen vorherbestimmten Düsenpositionen durchgeführt wird.

[0049] In einem dreizehnten Schritt S13 ist es optional möglich, dass Verzugsauswertungsbereiche vordefiniert werden, wobei der Benutzer lokale Bereiche des herzustellenden Bauteils auswählen kann, an denen die Deformation – umfassend die Effekte Schwindung und Verzug – oder alleine der Verzug lokal ausgewertet wird. Dabei kann zugleich ausgeschlossen werden, dass eine Verzugsauswertung an anderen, nicht ausgewählten Bereichen erfolgt. Hierdurch kann die Durchführung des Verfahrens gegebenenfalls vereinfacht werden, wobei zugleich Rechenzeit in Hinblick auf die Auswertung des Verzugs gespart wird. Gleichwohl ist es ebenso möglich, dass der Verzug des herzustellenden Bauteils nicht nur global berechnet, sondern auch global ausgewertet wird, wobei keine Auswertungsbereiche durch den Benutzer definiert werden. Die Möglichkeit, Auswertebereiche für den Verzug zu definieren, ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn nicht jeder Bereich des Bauteils in Hinblick auf einen möglichen Verzug gleich relevant ist. Insbesondere ist es möglich, dass Übergänge des Bauteils zu benachbarten Bauteilen sowie Anbindungsbereiche des Bauteils besonders relevant in Hinblick auf den Verzug sind, während andere Bereiche des Bauteils bezüglich des lokalen Verzugs von deutlich geringerem Interesse sind. Es bedarf dann keiner expliziten Auswertung des Verzugs an diesen weniger interessanten Stellen.

[0050] Bei einem ersten Iterationsdurchlauf des Verfahrens – was hier durch die Angabe $i = 1$ dargestellt ist, wobei i eine Laufvariable ist, welche die Iterationen des Verfahrens zählt – wird das Verfahren in einem vierzehnten Schritt S14 fortgesetzt. Dabei erfolgt in dem vierzehnten Schritt S14 bevorzugt eine Auswahl von Prozessparametern, insbesondere eine Auswahl von Maschinenparametern für die simulierte Spritzgussmaschine. Insbesondere können dabei eine Füllzeit für die Kavität und/oder ein Nachdruckprofil, insbesondere Werte für einen Nachdruck sowie ein zeitlicher Verlauf des Nachdrucks, und/oder insgesamt eine Nachdruckzeit, vorgegeben werden. Die Auswahl der Prozessparameter kann vollautomatisch, halbautomatisch oder manuell erfolgen.

[0051] Ebenfalls vor dem ersten Iterationsdurchlauf werden in einem fünfzehnten Schritt S15 Grenzwerte ausgewählt, beispielsweise Grenzwerte für einen maximal tolerierbaren Verzug und/oder einen maximal tolerierbaren Einspritzdruck. Dabei ist zu beachten, dass der maximale Einspritzdruck insbesondere von der vorgegebenen Einspritzzeit abhängt, da diese einen Schneckenanschub der Spritzgussmaschine bestimmt, wobei sich der Druck abhängig hiervon automatisch einstellt. Dabei bedingen kürzere Füllzeiten typischerweise höhere Druckwerte, und umgekehrt.

[0052] Weiterhin wird vor dem ersten Iterationsdurchlauf bevorzugt in einem sechzehnten Schritt S16 eine Gewichtung von Auswertungskriterien vorgenommen, wobei insbesondere bevorzugt definiert wird, ob der Fokus des Verfahrens vollständig oder eher auf einer Optimierung des Einspritzdrucks und/oder vollständig oder eher auf einer Optimierung des Verzugs des herzustellenden Bauteils, oder aber gleichwertig auf einer Druck- und Verzugsoptimierung basieren soll.

[0053] Die bisher dargestellten Schritte S1 bis S16 werden insbesondere im Rahmen einer sogenannten Vorprozessierung (Pre-Processing) eines nach der Finite-Elemente-Methode arbeitenden Verfahrens durchgeführt. Es erfolgt anschließend – insbesondere in einem sogenannten FEM-Solver – eine Simulation des Spritz-

gussvorgangs in einem siebzehnten Schritt S17. Dabei werden insbesondere im Rahmen der Finite-Elemente-Methode aufgestellte Differentialgleichungen gelöst.

[0054] Nach dem Simulieren des Spritzgussvorgangs in dem siebzehnten Schritt S17 folgt vorzugsweise in einem Nachprozessierungsteil (Post-Processing) des Verfahrens eine Auswertung des Simulationsergebnisses. Hierzu wird zunächst in einem achtzehnten Schritt S18 unterschieden, für welche Zahl von Spritzdüsen die Simulation des Spritzgussvorgangs durchgeführt wurde. Das Verfahren wird insbesondere in einem neunzehnten Schritt S19 fortgesetzt, wenn nur eine Spritzdüse der Simulation zugrunde gelegt wurde. Das Verfahren wird in einem zwanzigsten Schritt S20 fortgesetzt, wenn die Simulation für eine Mehrzahl von Spritzdüsen durchgeführt wurde, wobei hierbei wieder in Unterschritten S21, S23 unterschieden werden kann, ob eine kaskadierte oder sequenzielle Füllung, oder aber eine konventionelle Füllung simuliert wurde. Wurde die Simulation nur für eine Spritzdüse durchgeführt, folgt in einem fünfundzwanzigsten Schritt S25 nach der ersten Simulation, also dem ersten Iterationsdurchlauf, eine grobe Überprüfung des Simulationsergebnisses, um festzustellen, ob mit den gewählten Prozessparametern und der Start-Düsenposition überhaupt ein sinnvolles Ergebnis erhalten wird. Unabhängig von der gewählten Spritzdüsenzahl wird in einem sechsundzwanzigsten Schritt S26 genauer untersucht, ob das herzustellende Spritzgussbauteil mit den gewählten Prozessparametern überhaupt herstellbar ist. Wird dies verneint, wird in einem siebenundzwanzigsten Schritt S27 eine entsprechende Meldung an den Benutzer ausgegeben, sodass dieser – vorzugsweise manuell – in das Verfahren eingreifen und insbesondere die Prozessparameter sinnvoll anpassen kann. Wird dagegen festgestellt, dass das Spritzgussbauteil mit den gewählten Prozessparametern prinzipiell herstellbar ist, wird in einem achtundzwanzigsten Schritt S28 geprüft, ob die vorherbestimmten Grenzwerte eingehalten wurden, insbesondere, ob vorherbestimmte Maximalwerte überschritten wurden. Dabei wird bevorzugt geprüft, ob der simulierte Verzug des Spritzgussbauteils einen vorherbestimmten Maximalwert überschreitet. Alternativ oder zusätzlich wird bevorzugt geprüft, ob der Einspritzdruck einen vorherbestimmten Maximalwert überschreitet. Hierbei ist zu beachten, dass bei der Auswahl der Prozessparameter typischerweise die Einspritzzeit vorgegeben wird, welche wiederum den Schneckenanschub der Spritzgussmaschine bestimmt. Hieraus stellt sich dann ein Einspritzdruck ein, welcher den vorherbestimmten Maximalwert nicht überschreiten darf.

[0055] Wird in dem achtundzwanzigsten Schritt S28 festgestellt, dass wenigstens ein vorherbestimmter Grenzwert nicht eingehalten wurde, erfolgt in einem neunundzwanzigsten Schritt S29 eine – manuelle oder automatisierte – Optimierung der Prozessparameter mit dem Ziel, alle Grenzwerte in einem nächsten Simulationdurchlauf des Verfahrens einzuhalten. Das Verfahren wird dann in den folgenden Iterationen – wie durch einen entsprechenden Pfeil angedeutet – mit den optimierten Prozessparametern fortgesetzt, wobei das Verfahren in den vierzehnten Schritt S14 zurückspringt und von dort aus weitergeführt wird.

[0056] Wird dagegen in dem achtundzwanzigsten Schritt S28 festgestellt, dass die Grenzwerte eingehalten wurden, erfolgt in einem dreißigsten Schritt S30 die Gewichtung der nachfolgenden Auswertung anhand der in dem sechzehnten Schritt S16 vorgenommenen Gewichtung der Auswertungskriterien. Dabei ist gemäß dem unter dem Schritt S30 dargestellten Schema S31 insbesondere folgende Unterscheidung möglich: Gemäß einer ersten Auswertungsgewichtung G1 ist es möglich, dass ausschließlich der Einspritzdruck als Kriterium herangezogen wird, wobei insbesondere der Verzug des Spritzgussbauteils nicht beachtet wird. Es wird dann im Folgenden insbesondere eine Optimierung derart durchgeführt, dass das Simulationsergebnis mit dem geringsten Einspritzdruck als Optimum ausgewählt wird.

[0057] Gemäß einer zweiten Gewichtung G2 ist es möglich, dass der Einspritzdruck einerseits und der Verzug des Spritzgussbauteils andererseits gleichwertig als Auswertungskriterien herangezogen werden. Dabei wird im Rahmen der Optimierung vorzugsweise ein Simulationsergebnis mit durchschnittlichen Verzugs- und Einspritzdruckwerten als Optimum ausgewählt.

[0058] Gemäß einer dritten Auswertungsgewichtung G3 ist es bevorzugt möglich, dass ausschließlich der Verzug des Spritzgussbauteils als Auswertungskriterium herangezogen wird, wobei insbesondere der Einspritzdruck nicht als Auswertungskriterium herangezogen wird. Es ist dann insbesondere vorgesehen, dass ein Simulationsergebnis mit geringstmöglichen Verzugswerten im Rahmen der Optimierung als Optimum ausgewählt wird.

[0059] In einem zweiunddreißigsten Schritt S32 werden vorzugsweise weitere Auswertungskriterien oder Nebenbedingungen geprüft. So kann insbesondere ausgewertet werden, ob die Füllung der Kavität balanciert ist, ob eine Nachdruckzeit oder ein Nachdruckprofil moderat, insbesondere innerhalb bestimmter Grenzen, gegeben ist, ob Verzugs Grenzwerte eingehalten sind, und/oder ob eine gleichmäßige Volumenschwindung gegeben ist.

[0060] Wird das Verfahren für genau eine Spritzdüse ($D_n = 1$) durchgeführt, und befindet sich die Iteration noch in der Phase der Variation der Düsenposition gemäß dem zunächst gewählten, größten Raster mit größter Schrittweite, werden nun in einem dreiunddreißigsten Schritt S33 die Lagekoordinaten des optimalen Anbindungspunktes für die Einspritzdüse ermittelt. Dies impliziert bereits eine hier aufgrund der vereinfachten Darstellung nicht dargestellte Iteration der Simulation innerhalb des groben Rasters. Wurde das Optimum ermittelt, wird das Verfahren in einem vierunddreißigsten Schritt S34 fortgesetzt, wobei hier eine Wiederholung der Vorprozessierung und eine erneute Berechnung beziehungsweise Iteration des Verfahrens um den Ort des Lageoptimums der Düsenpositionierung mit feinerer Schrittweite erfolgt. Dies geschieht wiederum iterativ, was aufgrund der sonst zu komplizierten Darstellung in **Fig. 1** nicht eigens eingezeichnet ist. Nach den verschiedenen Iterationsschritten erfolgt in einem fünfunddreißigsten Schritt S35 eine Auswertung der Simulationsergebnisse und eine Auswahl der optimalen Düsenposition für die genau eine Spritzdüse. Als Ergebnis erhält man dann in einem sechsunddreißigsten Schritt S36 ein hinsichtlich Einspritzdruck und/oder Verzug optimiertes Anbindungskonzept. In diesem Fall endet das Verfahren in dem sechsunddreißigsten Schritt S36.

[0061] Beträgt die Düsenzah D_n einen Wert größer als eins ($D_n > 1$) und befindet sich das Verfahren in dem ersten Iterationsdurchlauf ($i = 1$), wird es ausgehend von dem Schritt S32 in einem siebenunddreißigsten Schritt S37 fortgesetzt, in welchem die Prozessparameter optimiert werden. Ausgehend von dem Schritt S37 wird das Verfahren dann in dem zwölften Schritt S12 fortgesetzt, wobei eine neue Position für die Spritzdüsen gewählt wird. Das Verfahren erreicht demnach in diesem Fall eine weitere Iterationsschleife.

[0062] Ist die Spritzdüsenzah D_n größer als eins ($D_n > 1$) und befindet sich das Verfahren in einer der ersten Iterationsschleife nachfolgenden Iterationsschleife ($i > 1$), wird das Verfahren ausgehend von dem Schritt S32 in einem achtunddreißigsten Schritt S38 fortgesetzt. In diesem Schritt S38 wird geprüft, ob die als Auswertungskriterien ausgewählten Kennwerte in dem aktuellen Iterationsschritt (i) besser sind als in dem vorangegangenen Iterationsschritt ($i - 1$). Ist dies der Fall, wird das Verfahren in dem siebenunddreißigsten Schritt S37 unter weiterer Optimierung der Prozessparameter fortgesetzt. Ist dies dagegen nicht der Fall, wird unterschieden, ob die Kennwerte weniger als dreimal oder höchstens dreimal in Folge nicht besser waren als bei der vorherigen Berechnung. Ist dies der Fall, werden die Parameter ebenfalls in dem Schritt S37 erneut optimiert. Waren die Parameter dagegen bei mehr als drei vorangegangenen Iterationen nicht besser als in dem jeweils vorhergehenden Iterationsschritt, wird die Iteration nicht fortgeführt, und das Verfahren wird vielmehr in einem neununddreißigsten Schritt S39 fortgesetzt, in welchem aus den bisherigen Simulationsergebnissen diejenige Variante mit den besten Werten für die Auswertungskriterien ausgewählt wird. Es erfolgt dann anschließend in einem vierzigsten Schritt S40 das Erhalten eines hinsichtlich Einspritzdruck und/oder Verzug optimierten Anbindungskonzepts. Dabei endet das Verfahren in diesem Fall in dem vierzigsten Schritt S40.

[0063] In dem achtunddreißigsten Schritt S38 wird mithin quasi eine Abbruchbedingung für das Verfahren definiert, wobei das Verfahren insbesondere abgebrochen wird, wenn weitere Iterationen keine Verbesserung der Werte für die Auswertungskriterien mehr versprechen.

[0064] Es zeigt sich dabei, dass eine Abbruchbedingung nur für den Fall vorgesehen ist, dass die Positionierung von mehr als einer Spritzdüse optimiert werden soll. Dies liegt an dem hiermit verbundenen, deutlich größeren Rechenaufwand. Wird dagegen die Position einer einzigen Spritzdüse optimiert, erfolgt bevorzugt – ohne Abbruchbedingung – eine Berechnung aller möglichen Oberflächenknoten der Raster für die Düsenpositionierung, wobei mit größerer Sicherheit das tatsächliche Optimum gefunden werden kann. Dies ist möglich, weil die Anforderungen an die Rechenzeit für die Auswertung bezüglich einer einzigen Spritzdüse deutlich geringer sind als für die Durchführung des Verfahrens für eine Mehrzahl von Spritzdüsen.

[0065] **Fig. 2** zeigt eine schematische Detaildarstellung eines Netzstrukturmodells **3** eines in **Fig. 3** dargestellten, herzustellenden Spritzgussbauteils **1**. Das Netzstrukturmodell **3** ist hier als 3D-Tetrahedral-Netzstrukturmodell ausgestaltet, wobei der Blick des Betrachters auf einen Ausschnitt einer Oberfläche **5** fällt, an der Oberflächenknoten angeordnet sind, von denen hier nur einer der übersichtlicheren Darstellung wegen mit dem Bezugszeichen **7** gekennzeichnet ist. Insgesamt weist das Netzstrukturmodell **3** eine Vielzahl von Knoten auf, wobei jeweils vier Knoten miteinander ein Tetraeder-Element bilden. Das Volumen des herzustellenden Spritzgussbauteils **1** ist dabei dicht mit einander unmittelbar benachbarten Tetraeder-Elementen gefüllt.

[0066] Anhand von **Fig. 2** wird nun erklärt, auf welche Weise im Rahmen des hier vorgeschlagenen Verfahrens Oberflächenknoten **7** von Volumenknoten, also im Inneren des Spritzgussbauteils unterhalb der Oberfläche **5** angeordneten Knoten, unterschieden und selektiert werden können. Dazu ist in **Fig. 2a**) eine Auswahl von drei Knoten K_1 , K_2 , K_3 eines Tetraeder-Elements hervorgehoben, indem die Fläche eines Dreiecks, welches von

den drei Knoten K1, K2, K3 sowie den diese unmittelbar verbindenden Kanten eingeschlossen wird, schraffiert hervorgehoben ist.

[0067] Tatsächlich wird im Rahmen des Verfahrens geprüft, ob Knotenkombinationen aus jeweils drei Knoten eines Tetraeder-Elements mit irgendeinem anderen Knoten eines – vorzugsweise unmittelbar benachbarten – Tetraeder-Elements ein weiteres Tetraeder-Element bilden, oder ob vielmehr nur ein einziger Knoten existiert, mit dem die drei ausgewählten Knoten ein Tetraeder-Element bilden, welches dann insoweit eindeutig bestimmt ist. Dabei zeigt sich, dass zu jedem Tetraeder-Element vier voneinander verschiedene Trias-Elemente aus drei Knoten ausgewählt und überprüft werden können. Weist zum Beispiel das hier hervorgehobene Tetraeder-Element zusätzlich zu den Knoten K1, K2, K3 noch einen Knoten K4 auf, können folgende Trias-Elemente ausgewählt werden:

K1, K2, K3

K1, K2, K4

K1, K3, K4

K2, K3, K4.

[0068] Im Rahmen der Prüfung zeigt sich dann, dass nur das Trias-Element K1, K2, K3 mit einem einzigen Knoten, nämlich dem Knoten K4, ein Tetraeder-Element bildet, woraus geschlossen werden kann, dass alle drei Knoten K1, K2, K3 Oberflächenknoten **7** sind.

[0069] Dies wird deutlicher anhand der Darstellung von **Fig. 2b)**, wo das Tetraeder-Element **9** quasi aus der Oberfläche **5** herausgehoben dargestellt ist. Dabei sind alle Knoten K1, K2, K3, K4 sichtbar. Betrachtet man nun ein Trias-Element, welches beispielsweise die Oberflächenknoten K1, K3 sowie den Volumenknoten K4 aufweist, so zeigt sich, dass dieses Trias-Element K1, K3, K4 einerseits mit dem Oberflächenknoten K2 das Tetraeder-Element **9** und andererseits aber noch mit wenigstens einem Knoten eines benachbarten Tetraeder-Elements, beispielsweise einem weiteren Oberflächenknoten oder einem Volumenknoten, ein weiteres Tetraeder-Element bildet. Gleiches gilt für das Trias-Element K1, K2, K4 oder das Trias-Element K2, K3, K4. In jedem Fall ist es möglich, mit wenigstens einem weiteren Knoten eines benachbarten Tetraeder-Elements, welches von dem Tetraeder-Element **9** verschieden ist, ein weiteres Tetraeder-Element zu bilden.

[0070] Ausschließlich das Trias-Element, welches die Oberflächenknoten K1, K2, K3 aufweist, und welches entsprechend den Volumenknoten K4 nicht aufweist, bildet nur mit dem Volumenknoten K4 ein Tetraeder-Element, nämlich das Tetraeder-Element **9**, sodass kein weiterer Knoten existiert, mit welchem dieses Trias-Element K1, K2, K3 ein weiteres Tetraeder-Element bilden würde.

[0071] Mithilfe der hier skizzierten Prüfung ist es demnach eindeutig möglich, die Oberflächenknoten **7** des Netzstrukturmodells **3** zu identifizieren und auszuwählen.

[0072] Sind die Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells **3** identifiziert und ausgewählt, kann die Anbindungsseite dadurch bestimmt werden, dass quasi eine Blickrichtung von der Düsenposition aus definiert wird. Es kann dann in bereits oben beschriebener Weise leicht mathematisch entschieden werden, ob der Volumenknoten K4 von der Düsenposition aus gesehen hinter dem Trias-Element aus Oberflächenknoten K1, K2, K3, oder aber vor dem Trias-Element K1, K2, K3 angeordnet ist. Ist er hinter dem Trias-Element K1, K2, K3 angeordnet, gehören die Oberflächenknoten K1, K2, K3 zu der selektierten Anbindungsseite. Ist der Volumenknoten K4 dagegen vor dem Trias-Element K1, K2, K3 angeordnet, gehören die Oberflächenknoten K1, K2, K3 zu einer der Anbindungsseite gegenüberliegenden Oberfläche des herzustellenden Spritzgussbauteils **1**. Mithilfe dieser sehr einfachen Prüfung ist es also möglich, aus den identifizierten Oberflächenknoten diejenigen auszuwählen, welche der Anbindungsseite zugeordnet sind.

[0073] Es ist durchaus möglich, dass im Rahmen des Verfahrens nicht zunächst alle Oberflächenknoten des Netzstrukturmodells **3** identifiziert und anschließend bezüglich ihrer Lage auf der Anbindungsseite selektiert werden, sondern dass vielmehr zu jedem gefundenen Trias-Element aus Oberflächenknoten direkt geprüft wird, ob dieses auf der Anbindungsseite liegt, oder nicht. Dabei kann das Triaselement direkt verworfen werden, wenn es nicht auf der Anbindungsseite liegt.

[0074] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise im Rahmen des Verfahrens bei der Ermittlung einer Düsenpositionierung für insgesamt zwei Spritzdüsen, nämlich eine erste Spritzdüse **11** sowie eine zweite Spritzdüse **13**, die hier durch Pfeile dargestellt sind. Da das in **Fig. 3** dargestellte Spritzgussbauteil **1** spiegelsymmetrisch ausgestaltet ist, bedarf es nur einer expliziten Betrachtung der Position der ersten Spritzdüse **11**, wobei die zweite Spritzdüse **13** bevorzugt spiegelbildlich hierzu versetzt wird. Im Rahmen der

Simulation des Spritzgussvorgangs wird allerdings das komplette Bauteil berechnet, insbesondere weil es auf die Interaktion der beiden Spritzdüsen **11**, **13** ankommt.

[0075] Dabei wird hier die erste Spritzdüse **11** – und damit mittelbar zugleich auch die zweite Spritzdüse **13** – entlang einer vorherbestimmten Positionierungskurve **15** variiert. Diese Positionierungskurve **15** wird vorzugsweise erhalten, indem ein Berechnungsingenieur eine Auswahl von Oberflächenknoten **7** trifft, durch welche er die Positionierungskurve **15** legen möchte. Anschließend ist es möglich, dass diese Auswahl von Oberflächenknoten **7** mathematisch angefittet wird, beispielsweise in Form einer Interpolation nach Newton oder in Form einer kubischen Spline-Interpolation. Alternativ ist es möglich, dass der Berechnungsingenieur selbst eine bestimmte Kurvenform festlegt oder erkennt, dass die ausgewählten Oberflächenknoten auf einer Kurve der von ihm insoweit heuristisch gefundenen mathematischen Funktion zumindest näherungsweise angeordnet sind. Beispielsweise kann der Berechnungsingenieur feststellen, dass die in **Fig. 3** dargestellte Positionierungskurve **15** in etwa einer Exponentialfunktion entspricht. Es ist dann möglich, eine Funktion der entsprechenden Form an die ausgewählten Oberflächenknoten **7** anzupassen. Um das Verfahren zu vereinfachen und die damit verbundene Rechenzeit zu verkürzen, wird vorzugsweise nicht die Funktion selbst, sondern vielmehr ihre Taylor-Entwicklung an die ausgewählten Oberflächenknoten angepasst, wobei die Taylor-Entwicklung nach einer vorherbestimmten oder durch den Berechnungsingenieur auszuwählenden Anzahl von Termen abgebrochen wird.

[0076] Im Rahmen der Simulation des Spritzgussverfahrens und der Iteration der Optimierung der Düsenpositionierung wird dann die erste Spritzdüse **11** schrittweise entlang der Positionierungskurve **15** verlagert, wobei vorzugsweise zugleich die zweite Spritzdüse **13** spiegelsymmetrisch mitverlagert wird.

[0077] Bei der Düsenpositionierung der Spritzdüsen **11**, **13**, die in **Fig. 3a)** dargestellt ist, zeigt sich anhand der Simulation, dass nach einer Berührung der Fließfronten der Kunststoffschmelze in der Symmetrieebene des Spritzgussbauteils **1** ein noch offener Fließweg **F** existiert, wobei die Kavität demnach mit der entsprechenden Positionierung der Düsen **11**, **13** nur bei erhöhtem Einspritzdruck vollständig gefüllt werden kann. Der Einspritzdruck steigt nämlich an, sobald die Fließfronten der Schmelze aufeinandertreffen.

[0078] Um eine Füllung der Spritzgusskavität bei insgesamt möglichst niedrigem Einspritzdruck zu verwirklichen, wird daher im nächsten Simulationsschritt die Position der Spritzdüsen **11**, **13** um den halben offenen Fließweg **F/2** zu den offenen, nicht gefüllten Enden der Kavität hin entlang der Positionierungskurve **15** versetzt. Eine erneute Simulation an der in **Fig. 3b)** dargestellten Düsenposition zeigt dann, dass mit dieser Düsenpositionierung eine vollständige Füllung der Kavität bei optimiertem Einspritzdruck erreicht werden kann. Vorzugsweise wird die Düsenpositionierung der Spritzdüsen **11**, **13** dann in Hinblick auf weitere Kriterien optimiert, insbesondere in Hinblick auf einen minimalen globalen oder lokalen Verzug des Spritzgussbauteils **1**.

[0079] **Fig. 4** zeigt schematisch eine Auswahl geeigneter Auswertungsbereiche zur lokalen Auswertung in Hinblick auf wenigstens ein gewähltes Auswertungskriterium. Besonders bevorzugt werden solche lokalen Bereiche ausgewählt, um eine Verzugsauswertung nur am Ort von ausgewählten Knoten des Netzstrukturmodells **3** durchzuführen. Das Verfahren kann dadurch besonders effizient und – jedenfalls in Hinblick auf die Auswertung des Verzugs – mit geringer Rechenzeit ausgeführt werden.

[0080] In **Fig. 4a)** ist die Auswahl einer geraden Kante mit einer endlichen Breite dargestellt. Hierzu werden – vorzugsweise manuell durch den Berechnungsingenieur – zwei Punkte oder Knoten P_0 , P_1 zur Definition der Kante selektiert. Es wird dann eine mathematische Filterregel aufgestellt, anhand derer für jeden Oberflächenknoten festgestellt werden kann, ob er der ausgewählten Kante mit endlicher Breite zuzuordnen ist, oder nicht. Um dies beispielsweise für einen hier beispielhaft ausgewählten Knoten P_A zu prüfen, wird ein den ersten selektierten Punkt P_0 mit dem Knoten P_A verbindender Vektor $\overline{P_0P_A}$ gebildet, und es wird gemäß der folgenden Gleichung ein Filterwert s berechnet:

$$s = \sqrt{\|\overline{P_0P_A}\|^2 - \left(\frac{\overline{P_0P_A} \cdot \overline{P_0P_1}}{\|\overline{P_0P_1}\|}\right)^2}. \quad (1)$$

[0081] Dabei ist der linke Term der Differenz unter der Wurzel das Betragsquadrat des den ersten selektierten Knoten P_0 mit dem ausgewählten, zu prüfenden Knoten P_A verbindenden Vektors, wobei der zweite Term der Differenz unter der Wurzel die quadrierte Länge der Projektion des Vektors $\overline{P_0P_A}$ auf den Vektor $\overline{P_0P_1}$ – in Form des Skalarprodukts der beiden Vektoren dividiert durch die Norm des Vektors $\overline{P_0P_1}$ – darstellt. Es wird

ein Selektionswert t bestimmt, wobei der ausgewählte Punkt P_A als zu der Kante zugehörig selektiert wird, wenn gilt:

$$0 \leq s \leq t. \quad (2)$$

[0082] Somit entspricht der Selektionswert t gerade der halben Breite der zu selektierenden Kante.

[0083] Fig. 4b) zeigt die Auswahl einer runden Ebene oder Scheibe mit endlicher Dicke zur lokalen Verzugsauswertung, was insbesondere in Anbindungsbereichen, beispielsweise zur Befestigung von Verschraubungselementen oder anderen Befestigungselementen sinnvoll ist. In solchen Bereichen kann generell nämlich nur ein vergleichsweise kleiner Verzug hingenommen werden.

[0084] Hierzu werden vorzugsweise manuell von dem Berechnungsingenieur drei Punkte ausgewählt, die auf der Umfangsline der runden Ebene liegen, nämlich ein erster Punkt P_0 , ein zweiter Punkt P_1 und ein dritter Punkt P_2 . Aus diesen drei Punkten wird dann ein Mittelpunkt P_m des durch die drei Punkte beschriebenen Kreises berechnet. Es ist alternativ oder zusätzlich auch möglich, dass der Berechnungsingenieur den Mittelpunkt P_m festlegt. Für einen zu untersuchenden Punkt P_A wird dann wiederum ein Filterwert s nach folgender Formel berechnet:

$$s = \overrightarrow{P_0 P_A} \cdot \vec{W}. \quad (3)$$

[0085] Es wird also das Skalarprodukt gebildet aus dem Vektor $\overrightarrow{P_0 P_A}$ und dem Normalenvektor \vec{W} der zuvor selektierten, runden Ebene. Der Punkt P_A wird als zu der ausgewählten runden Ebene zugehörig ermittelt, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind: Gemäß einer ersten Bedingung – siehe Gleichung (4) – muss der Punkt P_A innerhalb eines ringförmigen Streifens mit einer vorherbestimmten Breite $2t_1$ um den Radius r des ausgewählten Kreises liegen:

$$r - t_1 \leq \|\overrightarrow{P_m P_A}\| \leq r + t_1. \quad (4)$$

[0086] Dabei ist $\|\overrightarrow{P_m P_A}\|$ die Norm des den Kreismittelpunkt P_m mit dem zu untersuchenden Punkt P_A verbindenden Vektors. Gemäß einer zweiten Bedingung – siehe Gleichung (5) – muss bezüglich des Filterwerts s und eines weiteren Selektionswerts t_2 gelten:

$$0 \leq |s| \leq t_2. \quad (5)$$

[0087] Durch diese zweite Bedingung erhält der Streifen eine bestimmte Dicke, die gerade $2t_2$ beträgt.

[0088] Fig. 4c) beschreibt die Auswahl einer geraden Ebene. Hierzu werden – vorzugsweise manuell durch den Berechnungsingenieur – drei Punkte zur Definition der geraden Ebene ausgewählt, hier nämlich die Punkte P_0 , P_1 , P_2 . Für einen zu untersuchenden Punkt P_A wird dann das Filterwert s gemäß folgender Gleichung berechnet:

$$s = \overrightarrow{P_0 P_A} \cdot \vec{W}. \quad (6)$$

[0089] Dabei ist \vec{W} wiederum der Normalenvektor der selektierten Ebene. Der ausgewählte Knoten P_A wird selektiert, wenn folgende Bedingung bezüglich des Filterwerts s und eines Selektionswerts t erfüllt ist:

$$0 \leq |s| \leq t. \quad (7)$$

[0090] Andernfalls wird der Knoten ignoriert. Auf diese Weise wird demnach eine gerade Ebene mit einer vorherbestimmten Dicke ausgewählt, wobei die Dicke gerade $2t$ beträgt.

[0091] Insgesamt zeigt sich, dass mithilfe des hier vorgeschlagenen Verfahrens eine deutliche Vereinfachung der Auffindung optimaler Spritzdüsenpositionen zur Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils möglich ist.

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 1640134 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung einer Düsenpositionierung für die Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils (1), mit folgenden Schritten:
 - Bereitstellen eines Netzstrukturmodells (3) des herzustellenden Spritzgussbauteils (1);
 - Auswählen von Oberflächenknoten (7) des Netzstrukturmodells (3) auf einer Anbindungsseite für wenigstens eine Spritzdüse (11, 13);
 - Bestimmen von wenigstens einem Auswertungskriterium;
 - Simulieren eines Spritzgussvorgangs zur Herstellung des Spritzgussbauteils (1) mit wenigstens einer, an einem der ausgewählten Oberflächenknoten (7) positionierten Spritzdüse (11, 13), und Erhalten eines Simulationsergebnisses;
 - Auswerten des Simulationsergebnisses in Hinblick auf das wenigstens eine Auswertungskriterium, und
 - Wiederholen des Simulierens und Auswertens für eine Mehrzahl von Oberflächenknoten (7), an denen die wenigstens eine Spritzdüse (11, 13) positioniert ist, wobei
 - eine optimierte Düsenpositionierung durch Optimieren des wenigstens einen Auswertungskriteriums ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein 3D-Tetraedral-Netzstrukturmodell (3) verwendet wird, wobei die Oberflächenknoten (7) als Knotenkombinationen aus jeweils drei Knoten eines ersten Tetraeder-Elements (9) ermittelt werden, die mit keinem Knoten eines zweiten Tetraeder-Elements ein weiteres, drittes Tetraeder-Element bilden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswahl der Oberflächenknoten (7) und die Bestimmung des wenigstens einen Auswertungskriteriums in einem Vorprozessierungsschritt durchgeführt wird, wobei das Simulieren in einem Lösungsschritt mittels eines FEM-Lösungsalgorithmus durchgeführt wird, wobei das Auswerten in einem Nachprozessierungsschritt durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine optimierte Position einer einzelnen Spritzdüse (11, 13) ermittelt wird, wobei der iterativen Simulation die ausgewählten Oberflächenknoten (7) gemäß einem vorherbestimmten Raster zugrunde gelegt werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine optimierte Positionierung einer Mehrzahl von Spritzdüsen (11, 13) ermittelt wird, wobei Positionen der Spritzdüsen (11, 13) entlang einer vorherbestimmten Positionierungskurve (15) variiert werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Auswertungskriterium ausgewählt wird aus einer Gruppe bestehend aus einem Einspritzdruck, einem Verzug, einer Volumenschwindung, einem Füllverhalten, einem Nachdruckprofil, einer Nachdruckzeit, einem Temperaturverlauf des Kunststoffes, und einer Scherrate des Kunststoffes beim Füllen.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bestimmte Knoten des Netzstrukturmodells (3) für die Auswertung in Hinblick auf das wenigstens eine Auswertungskriterium ausgewählt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Oberflächenknoten (7) des Netzstrukturmodells (3) manuell als mögliche Anbindungspunkte für die wenigstens eine Spritzdüse (11, 13) ausgewählt oder als nicht mögliche Anbindungspunkte für die wenigstens eine Spritzdüse (11, 13) verworfen werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer Optimierung von einer Positionierung einer Mehrzahl von Spritzdüsen (11, 13) wenigstens eine Spritzdüse (11, 13) bezüglich ihrer Position festgehalten wird.
10. Verfahren zur Herstellung eines Kunststoff-Spritzgussbauteils (1), wobei eine optimierte Position von wenigstens einer Spritzdüse (11, 13) durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ermittelt wird, und wobei das Kunststoff-Spritzgussbauteil (1) durch Spritzgießen unter Verwendung der ermittelten, optimierten Position der wenigstens einen Spritzdüse (11, 13) hergestellt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

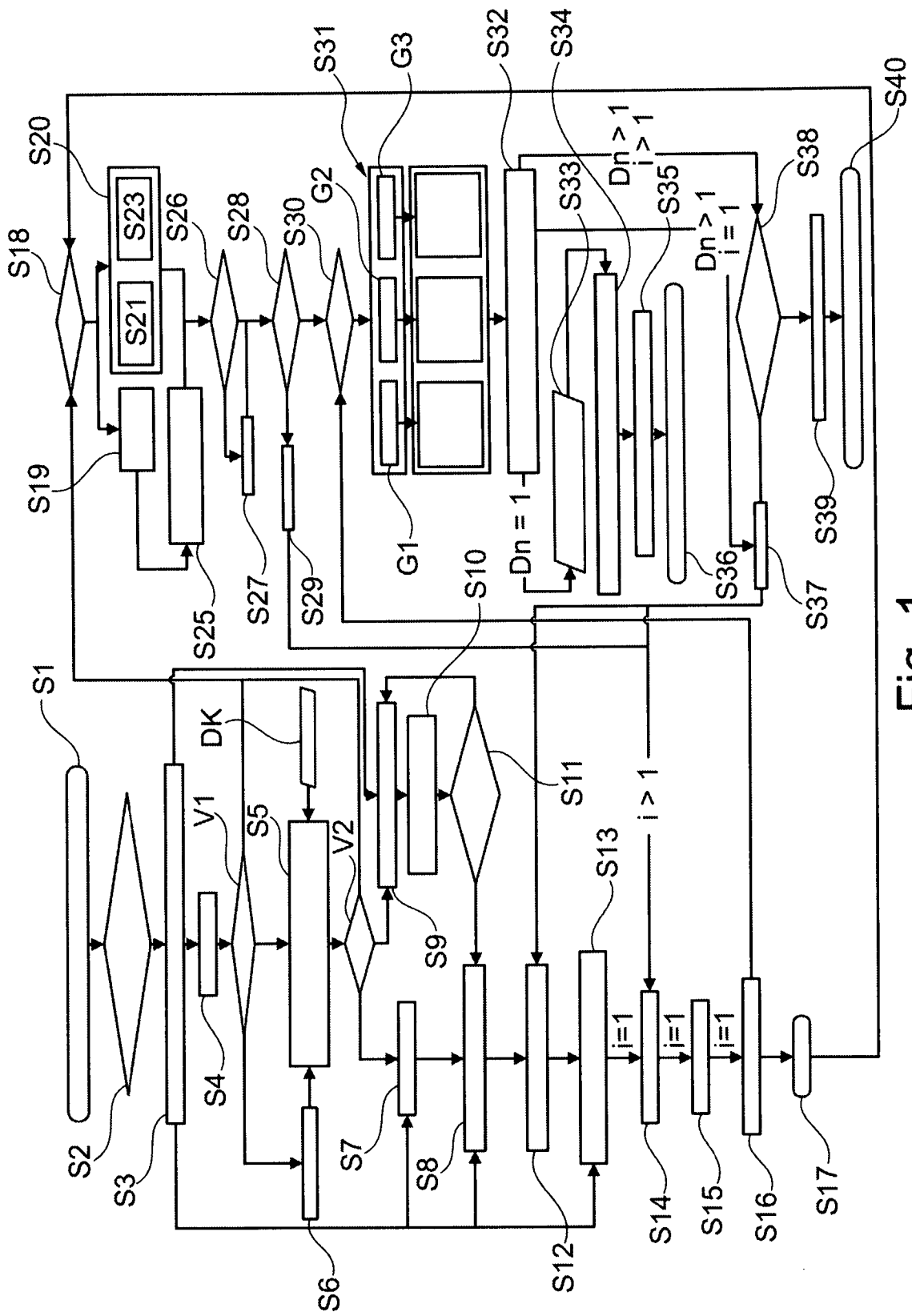


Fig. 1

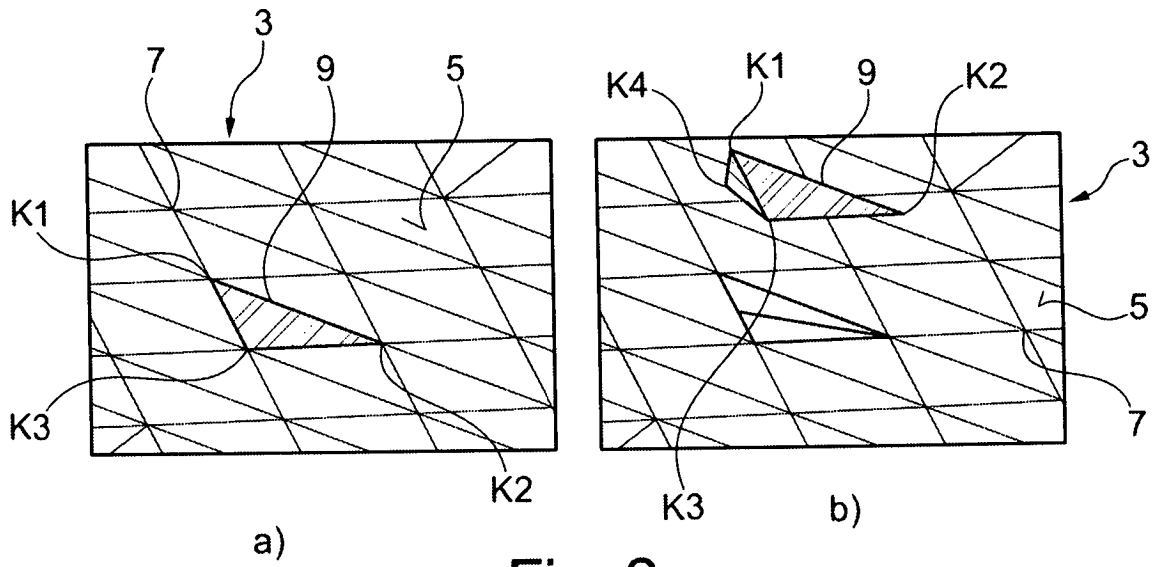


Fig. 2

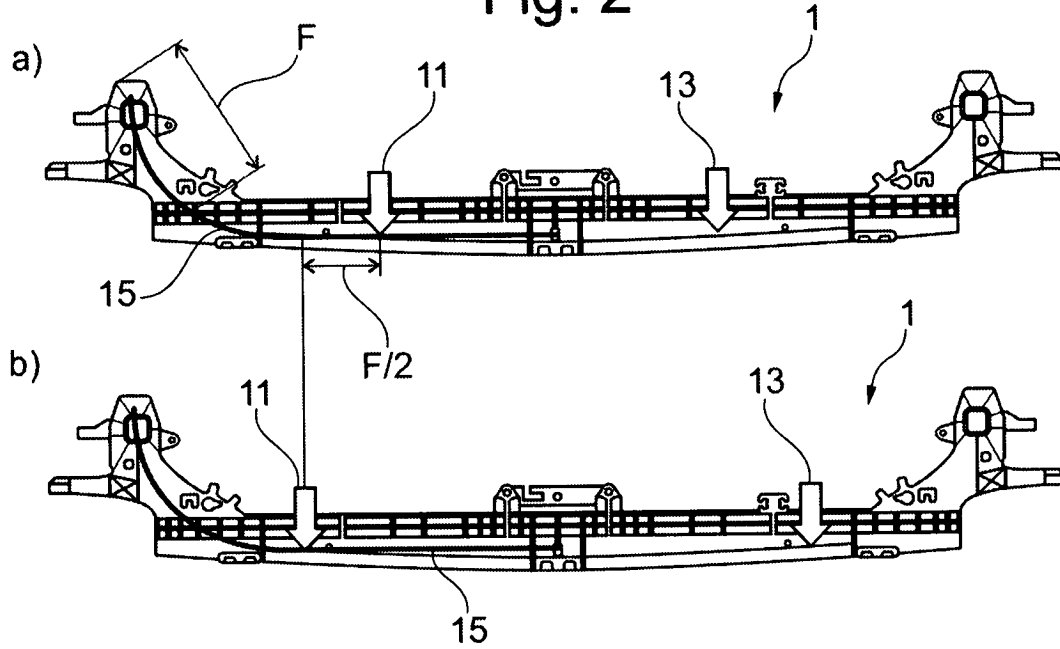


Fig. 3

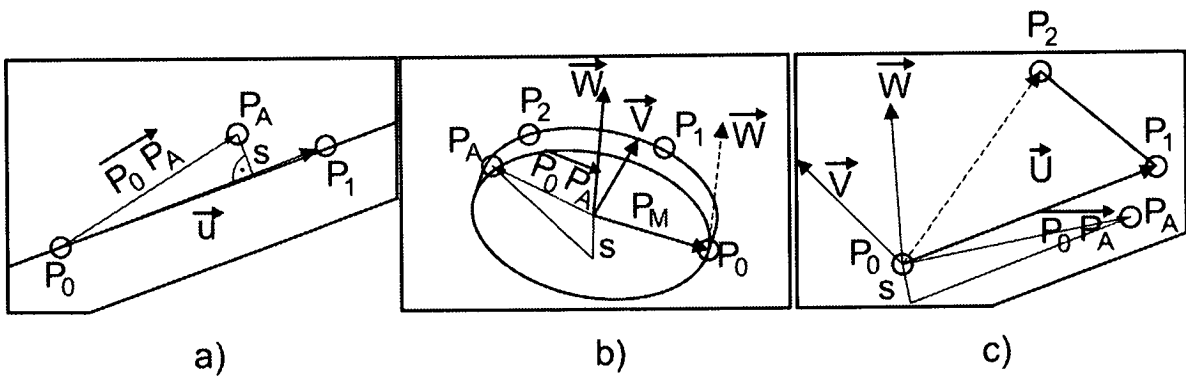


Fig. 4