

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. Februar 2021 (18.02.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/028545 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G06F 30/17 (2020.01) G06F 30/27 (2020.01)
G05B 19/418 (2006.01) G06F 111/20 (2020.01)
G06F 30/20 (2020.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/072791

(22) Internationales Anmeldedatum:

13. August 2020 (13.08.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2019 121 913.2

14. August 2019 (14.08.2019) DE

(71) Anmelder: SAMSON AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Weismüllerstraße 3, 60314 Frankfurt am Main
(DE).

(72) Erfinder: WIDL, Andreas; Ismaninger Straße 115, 81675
München (DE). FUHR, Philipp; Marienplatz 13, 50676
Köln (DE).

(74) Anwalt: SCHMID, Nils, T., F.,; Boehmert & Boehmert
Anwaltspartnerschaft mbB, Pettenkoferstrasse 22, 80336
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,

(54) Title: METHOD FOR OPTIMIZING A MODULAR SYSTEM FOR TECHNICAL FUNCTIONAL UNITS OF A PROCESS
ENGINEERING PLANT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM OPTIMIEREN EINES BAUKASTENSYSTEMS FÜR TECHNISCHE
FUNKTIONSEINHEITEN EINER PROZESSTECHNISCHEN ANLAGE

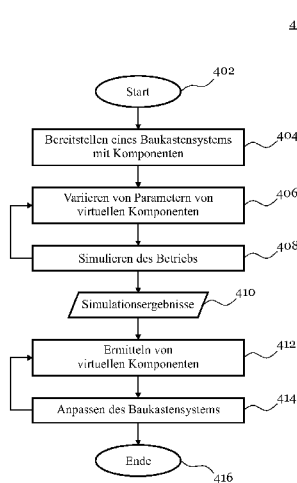


Fig. 4

402 Start
404 Providing a modular system having components
406 Varying parameters of virtual components
408 Simulating operation
410 Simulation results
412 Determining virtual components
414 Adjusting the modular system
416 End

(57) Abstract: The invention relates to a method for optimizing a modular system for technical functional units of a process engineering plant, comprising: - providing a modular system having a plurality of components for configuration of technical functional units of a process engineering plant, wherein the modular system can be represented in a simulation environment such that each component of the plurality of components of the modular system can be depicted, based on the physical properties thereof, as a virtual component having corresponding parameters in the simulation environment, - varying parameters of the virtual components in the simulation environment in order to determine at least one modified configuration of at least one technical functional unit having at least one of the virtual components having at least one varied parameter, and - simulating the operation of the at least one technical functional unit of the process engineering plant by means of the at least one modified configuration, - determining a set of virtual components from the virtual components having varied parameters based on results of the simulation, and - adjusting one or more components of the modular system based on the determined set of virtual components.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, umfassend Bereitstellen eines Baukastensystems mit einer Vielzahl von Komponenten zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, wobei das Baukastensystem in einer Simulationsumgebung derart abbildbar ist, dass jede Komponente aus der Vielzahl von Komponenten des Baukastensystems anhand ihrer physikalischen Eigenschaften als eine virtuelle Komponente mit entsprechenden Parametern in der Simulationsumgebung darstellbar ist, Variieren von Parametern der virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung, um mindestens eine geänderte Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit mit mindestens einer der virtuellen Komponenten mit mindestens einem variierten Parameter zu bestimmen, und Simulieren des Betriebs der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen geänderten Konfiguration, Ermitteln eines Satzes von virtuellen Komponenten aus den virtuellen Komponenten mit variierten Parametern basierend auf Ergebnissen der Simulation, und Anpassen einer oder mehrerer Komponenten des Baukastensystems anhand des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten.

MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM,
ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Verfahren zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten
einer prozesstechnischen Anlage

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung einen Datenträger mit Befehlen zum Einrichten einer Rechenvorrichtung zum Ausführen des Verfahrens zum Optimieren des Baukastensystems. Die vorliegende Erfindung betrifft zudem eine Rechenvorrichtung, die zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist, und ein entsprechendes System.

Die Verwendung von Baukastensystemen zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten von prozesstechnischen Anlagen ist bekannt. Hierbei umfasst typischerweise ein Baukastensystem eine Vielzahl von komplexen technischen Komponenten, die verwendet werden können, um eine gewünschte technische Funktionseinheit zu konfigurieren. Typischerweise sind einzelne Parameter der Komponenten in einem vordefinierten Bereich anpassbar, um mannigfaltige technische Funktionseinheit mit gewünschten physikalischen Eigenschaften zu realisieren. Die Komponenten des Baukastensystems können vorgefertigt sein und sind vielseitig einsetzbar. Durch das Baukastenprinzip können daher kostspielige Neuentwicklungen von Funktionseinheiten reduziert werden. Bei einer Änderung von Anforderungen an die technischen Funktionseinheiten kann zwar eine vorhandene Variabilität der Parameter der Komponenten des Baukastensystems genutzt werden, um eine technische Funktionseinheit an die geänderten Anforderungen anzupassen. Ferner können weitere Komponenten des Baukastensystems herangezogen werden, um erforderliche physikalische Eigenschaften der technischen Funktionseinheit zu realisieren. Die Ermittlung passender Lösungsmöglichkeiten kann jedoch schwierig

sein. Zudem bleiben die Lösungsmöglichkeiten solcher Baukastensysteme auf die Variabilität der Parameter der festgelegten Komponenten beschränkt. In vielen Fällen können auch nur Lösungen bereitgestellt werden, welche zwar weitgehend vorgegebene Anforderungen erfüllen, jedoch keinesfalls optimale Konfigurationen der technischen Funktionseinheit darstellen, da hierfür erforderliche Komponenten im Baukastensystem fehlen können.

Verschiedentlich wurde vorgeschlagen, funktionale Einheiten in einer Simulationsumgebung zu simulieren, um eine optimale Auslegung zu ermitteln. In der WO 2016/141998 A1 wird beispielsweise vorgeschlagen, eine digitale Abbildung einer physikalischen Entität bereitzustellen, um die physikalische Entität in Kombination mit weiteren physikalischen Entitäten zu simulieren. Ein virtuelles Testbett für Feldgeräte einer Automatisierungseinrichtung ist in EP 3 082 001 A1 offenbart. Zum Erweitern der Automatisierungseinrichtung um ein Feldgerät wird zunächst ein entsprechendes virtuelles Feldgerät an die Automatisierungseinrichtung virtuell angeschlossen. Ferner wird ein passender Steuerbaustein an die Automatisierungseinrichtung virtuell gekoppelt, um die Belastung der virtuell angeschlossenen Komponenten zu ermitteln. Wird eine vorgegebene Lastgrenze nicht überschritten, kann sowohl der Steuerbaustein als auch das Feldgerät zum realen Betrieb freigegeben werden. Die Simulation von virtuellen Abbildungen vereinfacht zwar das Auffinden von geeigneten physikalischen Komponenten für den realen Betrieb, jedoch bleibt der Lösungsraum auf Eigenschaften und die Variabilität von vorhandenen physikalischen Komponenten beschränkt.

Eine Simulation des Betriebs von mehreren Knoten eines Prozesssteuerungssystems, die miteinander verbunden und über Konfigurationen in einer Datenbank konfigurierbar sind, ist in DE 103 48 402 B4 offenbart. Einzelne Knoten des Prozesssteuerungssystems können für Simulationszwecke markiert werden, wodurch Kopien von zugeordneten Modulen und entsprechende Konfigurationen aus der Konfigurationsdatenbank abgerufen werden. Die Kopien der Module werden in einem Simulationscomputer gespeichert und automatisch in Simulationsmodule umgewandelt, um die Simulation durchzuführen. Diese Lösung ermöglicht eine vereinfachte Simulation anhand von gespeicherten Konfigurationen. Jedoch sind die

hierbei aufgefundenen Lösungen auf die vorhandene Variabilität der physikalischen Komponenten beschränkt.

WO 2018/001650 A1 geht auf die Ausgestaltung von Produktionsprozessen für Teilprodukte eines zusammengesetzten Produkts ein. Anhand eines Prozessmodells werden Daten über Produktionsschritte ausgelesen, um entsprechende Produktionsmodule zu ermitteln. Anweisungen aus den jeweiligen Produktionsschritten werden über eigens hierfür bereitgestellte Signalverbindungen an zugehörige Produktionsmodule übermittelt. Das Prozessmodell wird durch einen Grafen repräsentiert, wobei Knoten des Grafen jeweilige Prozessschritte und Kanten des Grafen die Abhängigkeiten zwischen den Produktionsschritten beschreiben. Über die Ausgestaltung des Produktionsprozesses geht der Ansatz jedoch nicht hinaus. Entsprechend ist auch nicht auf eine Optimierung von vorhandenen Komponenten für ein Baukastensystem vorgesehen.

In WO 2016/179455 A1 wird eine Optimierung des Produktdesigns auf der Grundlage von ermittelten Daten eines Produktlebenszyklus offenbart. Hierzu wird eine Vielzahl von Produktlebenszyklusmodellen aufgestellt, welche entsprechenden Stufen im Lebenszyklus des Produkts zugeordnet sind. Auf jeder dieser Stufen werden Datensätze über eine Webschnittstelle gesammelt und in einer Datenbank abgelegt, um die jeweiligen Produktlebenszyklusmodelle zu aktualisieren. Die aktualisierten Modelle werden herangezogen, um das Produktdesign zu optimieren. Auch wenn das Produktdesign anhand von ermittelten Produktlebenszyklusdaten anpassbar sein soll, ist dieser Ansatz lediglich auf eine Optimierung des resultierenden Gesamtprodukts anwendbar. Eine Optimierung einer Zusammensetzung eines zugrunde liegenden Baukastensystems ist hierbei nicht vorgesehen.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile aus dem bekannten Stand der Technik zu verbessern, insbesondere ein Verfahren zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage anzugeben, mit dem reale Komponenten eines bestehenden Baukastensystems in einer automatisierten und dynamischen Art und Weise an sich

verändernde und wachsende Anforderungen angepasst werden können, sodass ein optimiertes Baukastensystem bereitgestellt werden kann.

Die Aufgabe wird durch den Gegenstand des Hauptanspruchs und der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage angegeben, das ein Bereitstellen eines Baukastensystems mit einer Vielzahl von Komponenten zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, wobei das Baukastensystem in einer Simulationsumgebung derart abbildbar ist, dass jede Komponente aus der Vielzahl von Komponenten des Baukastensystems anhand ihrer physikalischen Eigenschaften als eine virtuelle Komponente mit entsprechenden Parametern in der Simulationsumgebung darstellbar ist, ein Variieren von Parametern der virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung, um mindestens eine geänderte Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit mit mindestens einer der virtuellen Komponenten mit mindestens einem variierten Parameter zu bestimmen, und Simulieren des Betriebs der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen geänderten Konfiguration, ein Ermitteln eines Satzes von virtuellen Komponenten aus den virtuellen Komponenten mit variierten Parametern basierend auf Ergebnissen der Simulation, und ein Anpassen einer oder mehrerer Komponenten des Baukastensystems anhand des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten umfasst.

Die Simulationsumgebung simuliert virtuelle Abbildungen der realen Komponenten des Baukastensystems für spezifische Ausgestaltungen von technischen Funktionseinheiten. Hierbei werden verschiedene Konfigurationen der technischen Funktionseinheit für Variationen von Parametern der virtuellen Komponenten bestimmt und simuliert. Aus den Simulationsergebnissen kann schließlich eine geeignete und optimale Konfiguration der technischen Funktionseinheit anhand der simulierten virtuellen Komponenten ermittelt und die hierbei eingesetzten virtuellen

Komponenten mit ihren variierten Parametern bestimmt werden. Eine simulationsbasierte optimale Realisierung einer technischen Funktionseinheit aus vorhandenen Komponenten eines Baukastensystems mittels Simulation ist für eine Feldgerätstation in DE 10 2018 013 342 A1 beschrieben. Hierbei wird eine prozesstechnische Anlage mit einer auszulegenden technischen Funktionseinheit in der Simulationsumgebung abgebildet. Dies impliziert, dass eine reale prozesstechnische Anlage mit realen technischen Funktionseinheiten auf eine virtuelle Ebene digital abgebildet wird, wodurch ein digitales Abbild, welches ebenfalls als ein digitaler Zwilling bezeichnet werden kann, der prozesstechnischen Anlage und der technischen Funktionseinheiten in der Simulationsumgebung bereitgestellt werden kann. Die Simulationsumgebung kann den Betrieb des digitalen Abbilds der prozesstechnischen Anlage mit dem digitalen Abbild der technischen Funktionseinheiten simulieren. Die Simulationsumgebung kann den Betrieb des digitalen Abbilds der prozesstechnischen Anlage derart simulieren, dass das simulierte Verhalten (oder die simulierten Betriebsgrößen) des digitalen Abbilds der prozesstechnischen Anlage einem Verhalten (oder Betriebsgrößen) der realen prozesstechnischen Anlage im Rahmen einer Fehlertoleranz entsprechen, sodass Ergebnisse der Simulation des digitalen Abbilds der prozesstechnischen Anlage in der Simulationsumgebung direkte Rückschlüsse auf den Betrieb der realen prozesstechnischen Anlage erlauben.

Erfindungsgemäß ist ferner vorgesehen, dass das digitale Abbild der funktionalen Einheiten aus virtuellen Komponenten aufgebaut ist, die durch das digitale Abbild des Baukastensystems spezifiziert ist. Das digitale Abbild der funktionalen Einheit kann somit in der Simulationsumgebung aus den virtuellen Komponenten des Baukastensystems zusammengesetzt werden. In der Simulationsumgebung können für die einzelnen virtuellen Komponenten Module bereitgestellt werden, welche das Verhalten wenigstens eines Abschnitts der abgebildeten Komponenten des Baukastensystems physikalisch-basiert simulieren. Die aus den virtuellen Komponenten zusammengesetzten und simulierten technischen Funktionseinheiten sind hierbei nicht auf ein einzelnes Gerät, beispielsweise ein Feldgerät beschränkt, sondern ermöglichen die Simulation einer Vielzahl von technischen Funktionseinheiten.

Eine Simulationsumgebung für prozesstechnische Anlagen kann in Form von Software, Hardware oder als Kombination davon implementiert sein. Beispielsweise kann auf einer oder mehreren Rechenvorrichtungen eine Simulationslogik spezifiziert sein, welche die Simulationsumgebung bereitstellt. Die Simulationslogik kann zumindest teilweise als Software oder als spezialisierte Hardware realisiert sein. Die Simulationslogik kann ferner über die Rechenvorrichtungen verteilt sein. Beispielsweise können Teile der Simulationslogik in einer dezentralen oder verteilten Rechenumgebung, welche ebenfalls als eine Cloud bezeichnet werden kann, realisiert sein.

Erfindungsgemäß werden Ergebnisse von Simulationen mit Variationen der Parameter der virtuellen Komponenten herangezogen, um optimale Konfigurationen der technischen Funktionseinheiten auch mit Komponenten zu ermitteln, welche im realen Baukastensystem noch nicht vorhanden sein müssen. Die Simulationsumgebung zieht die Gesamtheit der Simulationsergebnisse heran, um Komponenten zu identifizieren, die im realen Baukastensystem noch nicht vorhandenen sind, die jedoch für eine optimale Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit verwendet wurden. Hierbei können sowohl optimale Zusammenstellungen der Komponenten, beispielsweise anhand ihrer Anzahl oder Komplexität, als auch die Notwendigkeit der Komponenten zur Realisierung bestimmter Konfigurationen von technischen Funktionseinheiten berücksichtigt werden. Hierzu können beispielsweise metrikbasierte Optimierungsalgorithmen oder Suchalgorithmen zum Auffinden lokaler oder globaler Optima eingesetzt werden. Alternativ oder zusätzlich können Verfahren des maschinellen Lernens eingesetzt werden. Auf dieser Grundlage kann aus den bestehenden Komponenten des Baukastensystems und den ermittelten variierten Komponenten eine optimale Konfiguration des Baukastensystems ermittelt werden. Erfindungsgemäß werden somit die einzelnen Komponenten des Baukastensystems selbst ausgelegt, um eine optimale Zusammenstellung des Baukastensystems zu ermitteln.

Die geänderten Konfigurationen von technischen Funktionseinheiten, welche in der Simulationsumgebung als Simulationsgrundlage verwendet werden, können hierbei an geänderte oder neue Gegebenheiten angepasst sein, die sich aus einem realen Betrieb

oder einem simulierten Betrieb von bereits fertig konfigurierten technischen Funktionseinheiten ergeben können, welche beispielsweise anhand von Diagnoseergebnissen aus dem realen Betrieb ermittelbar sind, oder die durch Prozessveränderungen oder technologische Veränderungen, beispielsweise durch Klimaveränderungen oder sich verändernde Umgebungsbedingungen, Temperatur, Atmosphäre, welchen die funktionalen Einheiten in der prozesstechnischen Anlage ausgesetzt sein können, durch technischen Fortschritt oder eine sich verändernde Technik, wie beispielsweise standardisierte kabellose Datenübertragung, fehlende externe Energieversorgung, und dergleichen bedingt sein können. Die ermittelte geänderte Zusammenstellung des Baukastensystems wird somit selbst automatisch und dynamisch an die geänderten und neuen Gegebenheiten angepasst. Die Zusammenstellung des Baukastensystems kann somit ständig vollautomatisch und dynamisch up-to-date gehalten werden, wobei verschiedene Einflussfaktoren berücksichtigt werden können. Bei Bedarf kann die Produktion des Baukastensystems gänzlich auf die neue ermittelte Zusammenstellung der Komponenten umgestellt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung umfasst das Verfahren ferner ein Hinzufügen des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten zur Simulationsumgebung. Ausgehend von einem initialen Satz von virtuellen Komponenten kann somit die Simulationsumgebung ständig um bereits aufgefundene variierte virtuelle Komponenten ergänzt werden, welche in einem vorangegangenen Simulationsergebnis als Teile einer optimalen Zusammenstellungen des Baukastensystems ermittelt wurden. Es ist hierbei unwesentlich, ob diese aufgefundenen virtuellen Komponenten in der realen Produktion des Baukastensystems berücksichtigt wurden, da ihre Eignung zumindest in einem Simulationszyklus festgestellt werden konnte. Sämtliche virtuellen Komponenten (die initialen sowie die nachfolgend hinzugefügten) können in einer Datenbank oder in einer geeigneten Speicherstruktur gespeichert sein und bei zukünftigen Simulationsschritten direkt abgerufen werden, um neue geänderte Konfigurationen von technischen Funktionseinheiten in prozesstechnischen Anlagen zu simulieren. Hierdurch wird vorteilhaft die Datenbasis der Simulationsumgebung ergänzt. Vorzugsweise kann in einer parallel ausgeführten Optimierung die Datenbasis aus

vorhandenen virtuellen Komponenten bereinigt werden, indem Duplikate oder Überschüsse anhand von Ähnlichkeitskriterien oder einer Nutzungsstatistik aus der Datenbasis entfernt werden.

In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens sind jeder virtuellen Komponente ein oder mehrere Attribute zugeordnet, welche Wechselwirkungen zwischen der virtuellen Komponente und einer oder mehreren aus mindestens einer anderen virtuellen Komponente, mindestens einer technischen Funktionseinheit und/oder mindestens einer prozesstechnischen Anlage beschreiben. Die physikalischen Einflussfaktoren, welche die einzelnen virtuellen Komponenten betreffen sind entweder bekannt oder können sich aus einem realen Betrieb oder aus einer gewünschten Konfiguration der technischen Funktionseinheit und/oder der prozesstechnischen Anlage ergeben. Die Einflussfaktoren können daher über die Attribute eine feste Zuordnung auf Komponentenebene erhalten und können vollautomatisch an auftretende Veränderungen angepasst werden. Jede Komponente kann hierbei eine Matrix definieren, welche die Beziehungen der jeweiligen Einflussgrößen zueinander und ihre Zusammenhänge spezifiziert. Vorzugsweise kann die Matrix Korrelationen der Einflussgrößen spezifizieren.

Gemäß einer Ausführungsform sind die Attribute ferner mit mindestens einem aus historischen Diagnosedaten von Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen, reale Betriebsdaten von Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen, und virtuelle Betriebsdaten von simulierten virtuellen Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen verknüpft.

In einer weiteren Ausführungsform sind die Attribute ferner mit mindestens einem aus Fertigungs-, Montage-, und/oder Inbetriebnahmeinformationen für mindestens eine entsprechende Komponente, technische Funktionseinheit und/oder prozesstechnischen Anlage verknüpft.

Vorzugsweise können die Attribute mindestens eine Gewichtung aufweisen. Die Gewichtung kann einzelne virtuelle Komponenten und ihre Wichtigkeit aufzeigen, sodass entsprechend wichtige virtuelle Komponenten bevorzugt bei der Zusammenstellung eines geänderten Baukastensystems berücksichtigt werden können. Die Gewichtung kann anhand von Produktionskriterien, aber auch anhand von strategischen Überlegungen oder kundenspezifischen Informationen definiert sein. Die einzelnen Faktoren können in einem Satz von Gewichtungen abgebildet sein. Alternativ oder zusätzlich können die einzelnen Faktoren über eine Funktion kombinierbar sein und so als Gesamtscore der Komponente über eine einzelne (Gesamt-)Gewichtung darstellbar sein.

Die Attribute und ihre Korrelationen zueinander ermöglichen somit die Berücksichtigung einer Vielzahl von Einflussfaktoren auf Komponentenebene, welche bei der Zusammenstellung eines optimalen Ersatzes von Komponenten für das Baukastensystem vollautomatisch und dynamisch berücksichtigt werden können.

Ferner können gemäß einer bevorzugten Ausführungsform die Attribute die Variation der Parameter beeinflussen. Entsprechend erfolgt das Variieren der Parameter auf der Grundlage der Attribute und/oder einer Korrelation der Attribute. Die Ermittlung der Variationen kann somit direkt die Einflussfaktoren berücksichtigen, welche auf die einzelnen Komponenten wirken. Beispielsweise können Komponenten variiert werden, welche eine besonders hohe Gewichtung aufweisen und so bevorzugt ausgetestet werden sollen. Ferner können virtuelle Komponenten berücksichtigt werden, welche geeignete physikalische Eigenschaften und Wechselwirkungen mit weiteren virtuellen Komponenten aufweisen. Auch ist denkbar, dass virtuelle Komponenten berücksichtigt werden, welche von Einflussfaktoren aus dem realen Betrieb, beispielsweise Fehlermeldungen, betroffen sind oder eine Auswirkung auf sich verändernde technologische Gegebenheiten aufweisen.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Parameter der virtuellen Komponenten durch ein Berechnungsmodul variiert, das für eine technische

Funktionseinheit mindestens eine Variation eines Parameters einer virtuellen Komponente in der Simulationsumgebung bestimmt.

In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren ein Trainieren des Berechnungsmoduls mit Trainingsdaten basierend auf den Attributen und verknüpften Informationen. Das Berechnungsmodul kann initial mit Daten trainiert werden, welche die Auswirkungen der Einflussfaktoren auf die einzelnen Komponenten abbilden und/oder welche die Einflüsse der Auswahl (unter Variation) einzelner virtueller Komponenten auf die Realisierung von einer konkreten Konfiguration von Fugen technischen Funktionseinheiten beschreiben. Das Berechnungsmodul kann derart trainierbar sein, dass es vollautomatisch Zusammenhänge und Muster unter den virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung und den definierten Einflussfaktoren erkennt, sodass das Berechnungsmodul bei zukünftigen Entscheidungen gezielt virtuelle Komponenten zur Variation ihrer Parameter für die Gesamtheit der bestehenden Einflussfaktoren auswählen kann, um gewünschte Konfigurationen von technischen Funktionseinheiten in der Simulationsumgebung zu simulieren.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das Ermitteln des Satzes von virtuellen Komponenten ein Anwenden eines Suchalgorithmus zum Auffinden einer optimierten Kombination von virtuellen Komponenten zur Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage auf. Der Suchalgorithmus kann beispielsweise ein A*-Algorithmus mit einer Schätzfunktion sein, um zielgerichtet den Satz von virtuellen Komponenten aufzufinden. Der A*-Algorithmus ist ein vollständiger und optimaler Algorithmus, der stets eine optimale Lösung findet, falls sie existiert. Es sollte jedoch verständlich sein, dass weitere Suchalgorithmen verwendet werden können, beispielsweise IDA*, bidirektionale Suchschemata, Minimax-Verfahren, Alpha-Beta-Suche und dergleichen.

In einer weiteren Ausführungsform wird der Satz von virtuellen Komponenten von einem Entscheidungskern des Berechnungsmoduls ermittelt, wobei der Entscheidungskern mit Daten trainiert wird, welche bereits konfigurierte

Baukastensysteme für funktionale Einheiten von prozesstechnischen Anlagen spezifizieren. Der Entscheidungskern kann hierbei derart trainiert sein, dass er vollautomatisch Zusammenhänge und Muster bei der Zusammenstellung von Baukastensystemen erkennt. Somit kann der Entscheidungskern bei zukünftigen Entscheidungen über eine optimale Zusammenstellung von Baukastensystemen gezielt Sätze von virtuellen Komponenten zur Änderung eines bestehenden Baukastensystems ermitteln, welche das Baukastensystem im Hinblick auf die Einflussfaktoren und gewünschte Konfigurationen von technischen Funktionseinheiten optimieren.

Vorzugsweise weist das Berechnungsmodul eines oder mehrere aus einem statistischen Entscheidungskern oder einer Support-Vector-Maschine und dergleichen, oder mindestens einem künstlichen neuronalen Netz oder einem Analysekernel basierend auf einer logistischen Regression, einem Distanzklassifikator, einem Polynomklassifikator oder einem Clusterverfahren auf. Ferner können weitere Verfahren des maschinellen Lernens, welche unter dem Oberbegriff der „künstlichen Intelligenz“ zusammengefasst werden können, vorgesehen sein. Das Berechnungsmodul kann hierbei ein Modul zur Auswahl und Variation der Parameter der virtuellen Komponenten und ein weiteres Modul zur Bestimmung des Satzes von virtuellen Komponenten aufweisen. Beide Module können getrennt trainierbar sein. Ferner können selbstlernende Module vorgesehen sein, welche aus erfolgten Simulations- und Auswahlritten automatisch oder semi-automatisch lernen. Hierdurch wird die Datenbasis automatisch vergrößert und das System automatisch und dynamisch an aktuelle Entwicklungen angepasst.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die technische Funktionseinheit mindestens eine Feldgerätstation auf, wie eine Stellarmatur, eine Pumpe, einen Sensor oder dergleichen, wobei die prozesstechnische Anlage eine chemische Anlage, eine Lebensmittel verarbeitende Anlage, ein Kraftwerk oder dergleichen sein kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die prozesstechnische Anlage anhand von betriebsspezifischen Anlagenmerkmalen, aufweisend Art eines Prozessmediums, Prozessfluidströmung, Anzahl von Feldgerätstationen, Anlagenumgebung oder dergleichen, in der Simulationsumgebung abbildbar.

In einer noch weiteren Ausführungsform beeinflusst das Simulieren wenigstens eine Betriebsgröße, wie eine Regelgröße, beispielsweise Temperatur, Druck, Durchfluss oder dergleichen, der abgebildeten prozesstechnischen Anlage.

Gemäß einer Ausführungsform weisen die variierten Parameter mindestens eines aus einem Geometrieparameter oder einem Leistungsparameter auf, wie eine Stellantriebskraft, eine Pumpenleistung, ein KV-Wert oder dergleichen

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner ein wiederholtes Variieren von Parametern, um mindestens eine weitere geänderte Konfiguration der mindestens einen technischen Funktionseinheit zu bestimmen, und ein wiederholtes Simulieren des Betriebs der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen weiteren geänderten Konfiguration. Die iterative Ausführung der Variation der Parameter und der Simulation der entsprechend ausgelegten technischen Funktionseinheit kann vollautomatisch und kontinuierlich durchgeführt werden. Ferner können die Interaktionen beendet werden, falls ein Gütwert oder Score der aufgefundenen optimierten Zusammenstellung des Baukastensystems auch bei wiederholter Simulation nicht mehr übertroffen wird. Eine solche Entscheidung kann beispielsweise mittels eines oder mehrerer Schwellenwerte gesteuert werden.

In einer Ausführungsform ist die Simulationsumgebung zumindest teilweise auf einer verteilten Rechenumgebung bereitgestellt, welche eingerichtet ist, den Betrieb einer technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage für eine geänderte Konfiguration zu simulieren. Verschiedene Teile der Simulationsumgebung sind somit parallelisierbar, wodurch eine optimale Berechnung einer Vielzahl von Variationen und Simulationen für die gewünschten Konfigurationen der technischen Funktionseinheiten durchgeführt werden kann. Ferner kann bei der Verteilung der Aufgaben der Simulationsumgebung auf die einzelnen Rechensysteme der verteilten Rechenumgebung die Auslastung der jeweiligen Rechensysteme berücksichtigt werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner ein Bereitstellen des geänderten Baukastensystems zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten der prozesstechnischen Anlage. Geänderte Baukastensysteme können nach vordefinierten Produktionszyklen bereitgestellt werden. Ferner kann die Bereitstellung von expliziten Anforderungen und durch Gegebenheiten, beispielsweise durch Auswertung von Diagnose und Fehlerprotokollen bedingt sein. Schließlich kann auch eine Änderung des Baukastensystems vollautomatisch empfohlen werden, falls ein Gütwert oder Score eines geänderten Baukastensystems einen Schwellwert übersteigt.

Erfindungsgemäß ist zudem ein Datenträger mit darauf gespeicherten Befehlen angegeben, die, wenn sie von einem oder mehreren Prozessoren einer Rechenvorrichtung ausgeführt werden, die Rechenvorrichtung einrichten, ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

Insbesondere kann die Rechenvorrichtungen eingerichtet sein, ein Verfahren zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, wobei das Verfahren ein Bereitstellen eines Baukastensystems mit einer Vielzahl von Komponenten zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, wobei das Baukastensystem in einer Simulationsumgebung derart abbildbar ist, dass jede Komponente aus der Vielzahl von Komponenten des Baukastensystems anhand ihrer physikalischen Eigenschaften als eine virtuelle Komponente mit entsprechenden Parametern in der Simulationsumgebung darstellbar ist, ein Variieren von Parametern der virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung, um mindestens eine geänderte Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit mit mindestens einer der virtuellen Komponenten mit mindestens einem variierten Parameter zu bestimmen, und Simulieren des Betriebs der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen geänderten Konfiguration, ein Ermitteln eines Satzes von virtuellen Komponenten aus den virtuellen Komponenten mit variierten Parametern basierend auf Ergebnissen der Simulation, und ein Anpassen einer oder mehrerer Komponenten des Baukastensystems anhand des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten umfasst.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Rechenvorrichtungen definiert, die zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage eingerichtet ist, wobei die Rechenvorrichtung mindestens einen Prozessor umfasst, der eingerichtet ist zum Bereitstellen eines Baukastensystems mit einer Vielzahl von Komponenten zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, wobei das Baukastensystem in einer Simulationsumgebung derart abbildbar ist, dass jede Komponente aus der Vielzahl von Komponenten des Baukastensystems anhand ihrer physikalischen Eigenschaften als eine virtuelle Komponente mit entsprechenden Parametern in der Simulationsumgebung darstellbar ist, Variieren von Parametern der virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung, um mindestens eine geänderte Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit mit mindestens einer der virtuellen Komponenten mit mindestens einem variierten Parameter zu bestimmen, und Simulieren des Betriebs der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen geänderten Konfiguration, Ermitteln eines Satzes von virtuellen Komponenten aus den virtuellen Komponenten mit variierten Parametern basierend auf Ergebnissen der Simulation, und Bestimmen eines angepassten Baukastensystems mit mindestens einer angepassten Komponente, deren physikalische Eigenschaften anhand des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten angepasst sind.

Vorzugsweise kann die Rechenvorrichtung eingerichtet sein, beliebige Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens und von einer oder mehreren Ausführungsformen des Verfahrens in beliebiger Kombination auszuführen.

Gemäß noch einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein System vorgesehen, das mindestens eine Rechenvorrichtung nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst. Das System kann ein verteiltes System von Rechenvorrichtungen sein, welche über mindestens ein Netzwerk verbunden sein können, um über das Netzwerk miteinander zu kommunizieren.

Vorzugsweise kann das System ferner eine oder mehrere Datenbanken umfassen, welche historische oder aktuelle Daten zu Komponenten und/oder funktionalen Einheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen speichern.

Die erfindungsgemäße Rechenvorrichtung und das erfindungsgemäße System können in bevorzugten Ausführungsformen beliebige Verfahrensschritte gemäß Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens in beliebiger Kombination durchführen und/oder entsprechende Merkmale implementieren. Ferner können Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens derart ausgestaltet sein, dass sie Merkmale von Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Rechenvorrichtungen in beliebiger Kombination bereitstellen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Ausführungsformen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt, wobei:

Fig. 1 eine Vielzahl von virtuellen Komponenten zeigt, die in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung anwendbar sind;

Fig. 2 eine schematische Ansicht einer Variation von Parametern gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung darstellt;

Fig. 3 eine schematische Ansicht einer Umgebung zur Optimierung eines Baukastensystems gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist; und

Fig. 4 ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

Figur 1 zeigt eine Vielzahl von virtuellen Komponenten, die in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung anwendbar sind. Vorzugsweise können die virtuellen Komponenten 102a, 102b, ..., 102n digitale Abbildungen von realen Komponenten

eines Baukastensystems in einer Simulationsumgebung sein, welche zur Auslegung und Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage einsetzbar sind.

Die technische Funktionseinheit kann beispielsweise ein Feldgerät, eine Feldgerätstation oder dergleichen sein. Die technische Funktionseinheit kann beispielsweise ein Regelventil sein, das eines oder mehrere aus mindestens einem Stellventil mit (oder ohne) Gehäuse, mindestens einen Deckel, mindestens ein Joch, mindestens eine Stellanzeige, mindestens ein Stellglied, mindestens einen Einlass-Auslassflansch, mindestens ein Drosselement, mindestens eine Dichtpackung und/oder mindestens eine Isolierung und dergleichen, in beliebiger Kombination, aufweisen kann. Das Regelventil kann ferner mindestens eines aus einem Stellungsregler, mindestens einem Booster, mindestens einer Verrohrung, mindestens einem Wegmesssystem, mindestens einem Bussystem, mindestens einem Zweileiter, mindestens einer Diagnoseeinheit und/oder mindestens einer Funkeinheit und dergleichen, in beliebiger Kombination, aufweisen. Ferner kann das Regelventil mindestens eines aus mindestens einem Antrieb, mindestens einer Kupplung, mindestens einer Entlüftung, mindestens einer Membran und/oder mindestens einer Feder und dergleichen, in beliebiger Kombination, aufweisen. Die Konfiguration des Regelventils kann hierbei so gewählt sein, dass sie gewünschten physikalischen Eigenschaften des Regelventils gemäß einer oder mehreren Anforderungen aufweist.

Die einzelnen Teile und Einheiten des Regelventils oder einer beliebigen anderen technischen Funktionseinheit können hierbei aus Komponenten eines Baukastensystems konfiguriert sein, wodurch eine breite Palette von technischen Funktionseinheiten anhand von definierten Standardkomponenten aus dem Baukastensystem bereitgestellt werden kann. Die (Standard-)Komponenten des Baukastensystems können anhand von Parametern in vorgegebenen Bereichen an die jeweiligen Anforderungen der technischen Funktionseinheit adaptierbar sein. Hierdurch wird eine noch höhere Variabilität bei der Konfiguration von technischen Funktionseinheiten auf der Grundlage des Baukastensystems erreicht. Das Baukastensystem kann optimiert werden, indem vorzugsweise die Komponenten des Baukastensystems in einer Simulationsumgebung im Hinblick auf mannigfaltige

Anforderungen und Einflussfaktoren überprüft und hierdurch die Zusammensetzung des Baukastensystems an aktuelle Anforderungen angepasst werden kann.

Jede der in Figur 1 gezeigten virtuellen Komponenten 102a, 102b, ..., 102n kann durch einen oder mehrere Parameter 104 definiert sein. Jeder Parameter 104 kann eine Variabilität der Auslegung der zugehörigen realen Komponente im Hinblick auf physikalische oder funktionale Eigenschaften der realen Komponente definieren. Ein Parameter kann beispielsweise auf einen bestimmten Wert gesetzt werden, der eine bestimmte physikalische Eigenschaft der realen Komponente festlegt und so auch in seinem digitalen Abbild eine direkte Auswirkung auf die Simulation weiterer virtueller Komponenten haben kann.

Figur 2 zeigt detailliert eine virtuelle Komponente, beispielsweise die virtuelle Komponente 102. Entsprechend werden dieselben oder entsprechende Bezugszeichen verwendet, wie sie auch in Figur 1 zur Anwendung kommen. Wie in Figur 2 gezeigt, können einzelne Parameter 104 beispielsweise in einem Wertebereich 202 variiert werden, welcher direkt durch die entsprechende reale Komponente (ohne eine physische Modifikation der realen Komponente) umsetzbar sein kann. Die Parameter 104 können in einem Wertebereich, beispielsweise einem oberen Wertebereich 204 und/oder einem unteren Wertebereich 206, variiert werden, der nicht durch die physikalische Komponente realisierbar sein muss, jedoch im Hinblick auf eine Auslegung einer technischen Funktionseinheit vorteilhaft sein kann. Hierdurch können in der Simulationsumgebung geänderte und/oder neue virtuelle Komponenten simuliert werden, welche keine Entsprechung in der zugehörigen Realisierung der realen Komponente haben, die jedoch neue oder geänderte technische Funktionseinheiten vorteilhaft konfigurieren können. Hierbei können auch Einflussfaktoren, welche technische, funktionale oder operationale Aspekte umfassen können, berücksichtigt werden. Aus der Simulation können sich vorteilhafte virtuelle Komponenten zur Umsetzung der technischen Funktionseinheiten 102a, 102b, ..., 102n ergeben, woraus eine optimale Zusammenstellung des Baukastensystems ermittelbar ist.

Auch wenn in Figur 2 ein unterer und ein oberer Wertebereich 204, 2016 gezeigt sind, sollte verständlich sein, dass Wertebereiche keinesfalls eindimensional und/oder nach oben und unten beschränkt sein müssen. Vielmehr sind mehrdimensionale Wertebereiche denkbar, welche eine Ausdehnung in beliebigen Dimensionen haben können, beispielsweise zwei-, drei- oder mehrdimensionale Wertebereiche.

Die Einflussfaktoren können auf Komponentenebene jeder virtuellen Komponente 102 über entsprechende Attribute 106 zugeordnet werden. Die Attribute 106 können einzelnen Einflussfaktoren zugeordnet werden.

Jeder virtuellen Komponente 102 kann eine Matrix zugeordnet sein, welche die einzelnen Einflussgrößen und die Zusammenhänge der einzelnen Einflussgrößen zueinander spezifizieren kann. Somit kann die Matrix Korrelationen der Einflussgrößen in Bezug auf die jeweilige virtuelle Komponente 102 aufweisen. Zusammenhängende Einflussgrößen können beispielsweise durch Fehlermeldungen (Reklamationen und dergleichen) oder Diagnoseergebnisse einer real umgesetzten technischen Funktionseinheit definiert sein. Die Einflussgrößen können ferner den Bedarf einzelner Komponenten, Fertigungsmöglichkeiten und Kapazitäten und eine Wirtschaftlichkeit der Fertigung, beispielsweise im Hinblick auf Materialanforderungen, Energieverbrauch, und dergleichen abbilden.

Aus den den virtuellen Komponenten 102 zugeordneten Matrizen und den jeweiligen Zusammenhängen kann automatisiert ein Cluster von Anforderungen erstellt werden, welche nachgelagert je nach ihrem Grad der Automatisierung klassifiziert werden können. Vollautomatisierte Anforderungen können beispielsweise durch eine Variation der Parameter 104 realisierbar sein.

Eine oder mehrere oder die Gesamtheit der Anforderungen kann ferner mit vorhandenen Fertigungskapazitäten und Auslastungsplänen abgeglichen werden, woraus weitere Einflussfaktoren und Gewichtungen, beispielsweise anhand von Prioritäten, bestimmt werden können. Hierdurch können Arbeitsaufträge für geänderte reale Komponenten ausgelöst werden. Solche geänderten realen Komponenten können

wiederum in der Simulationsumgebung abgebildet werden. Anders ausgedrückt können die variierten virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung verbleiben und für zukünftige Simulationen weiterverwendet werden. Alternativ oder zusätzlich kann auf der Grundlagen der geänderten realen Komponente ein digitales Abbild der geänderten realen Komponente erstellt und in die Simulationsumgebung eingefügt werden. Dieses digitale Abbild kann in der Lage sein, die Konfiguration der geänderten realen Komponente genauer abzubilden.

Unabhängig von einem Einsatz der realen Komponenten in einer technischen Funktionseinheit können die vorhandenen virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung im Hinblick auf aktualisierte Einflüsse und Anforderungen getestet werden und es kann nach einer weiteren Optimierung des Baukastensystems gesucht werden. Hierbei kann eine bestimmte Zeitdauer der Simulation, in der sich die ermittelten virtuellen Komponenten auch bei sich ändernden Bedingungen bewähren müssen, und der Grad des Verbesserungspotenzial der neuen Komponenten im Hinblick auf eine geänderte Konfiguration des Baukastensystems berücksichtigt werden, um eine reale Umsetzung des Baukastensystems zu veranlassen. Auf diese Weise findet eine kontinuierliche automatisierte Verbesserung der Zusammenstellung des Baukastensystems und der entsprechenden Komponenten statt.

Die digitalen Abbildungen der realen Komponenten als digitale Zwillinge in Form von virtuellen Komponenten 102 können mindestens einen Datensatz mit einem oder mehreren aus CAD, FEM, CFD oder weiteren Simulations-, Konstruktion- und Modellierungsdaten, mindestens einem Messprotokoll, mindestens einer Toleranz, einer oder mehrerer Oberflächen, eine oder mehrere Materialien, eine oder mehrere Oberflächenbehandlungen und dergleichen, eine oder mehrere Schnittstellen (Interfaces), Anschlüsse und dergleichen, mindestens eine Norm, Herstellungskosten, Herstellzeiten, -qualität, Bearbeitungsmaschinen, CNC-Programme und dergleichen, Angaben zur Teilekompatibilität innerhalb von technischen Funktionseinheiten und/oder Informationen zum Verschleiß und dergleichen, in beliebiger Kombination, aufweisen. Die einzelnen Datensätze und Datenfelder können entweder direkt oder kombiniert auf die jeweiligen Attribute 106 der virtuellen Komponenten 102 abbildbar sein.

Figur 3 ist eine schematische Ansicht einer Umgebung zur Optimierung eines Baukastensystems gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

Das Baukastensystem 302 kann eine Vielzahl von realen Komponenten 304 aufweisen. Die realen Komponenten 304 können in einer Simulationsumgebung 306 als virtuelle Komponenten 308 abgebildet sein, wie es durch Pfeil 310 angedeutet ist, wobei jede reale Komponente 304 einen digitalen Zwilling in Form einer entsprechenden virtuellen Komponente 308 haben kann. Die digitale Abbildung kann hierbei analog zu den in Figuren 1 und 2 beschriebenen Ausführungsformen erfolgen, sodass die virtuellen Komponenten 308 auch die in Figuren 1 und 2 gezeigten virtuellen Komponenten 102, 102a, 102b, ..., 102n mit entsprechender Konfiguration und Funktionalität sein können. Insbesondere kann jede der virtuellen Komponenten 308 über Parameter und Attribute, wie beispielsweise Parameter 104 und Attribute 106 aus Figuren 1 und 2, einstellbar und simulierbar sein. Hierbei können in der Simulationsumgebung 306 Einstellungen sämtlicher virtuellen Komponenten 308, beispielhaft anhand einer virtuellen Komponente 308a gezeigt, auch über einen Einstellbereich und entsprechende Möglichkeiten der zugehörigen realen Komponenten 304 hinaus erfolgen, wie es durch Pfeil 312 veranschaulicht ist. Hierdurch kann die virtuelle Komponente 308a als virtuelle Komponente 308a' eingerichtet sein. Diese so eingestellte virtuelle Komponente 308a' kann in der Simulationsumgebung 306 – auch im Zusammenspiel mit den verbleibenden virtuellen Komponenten 308 – simuliert und evaluiert werden.

Die Simulation und Evaluation sämtlicher virtueller Komponenten 308 in der Simulationsumgebung 306 kann beispielsweise durch ein Berechnungsmodul 314 erfolgen. Das Berechnungsmodul 314 kann hierbei auf eine Datenbank 316 zugreifen, welche unterschiedliche Datensätze ablegen und einen effizienten Abruf der Datensätze bereitstellen kann, wie nachfolgend detailliert erörtert werden wird.

Sollte die Simulation und Evaluation der virtuellen Komponente 308a' in der Simulationsumgebung 306 durch das Berechnungsmodul 314 in einer Bewertung resultieren, welche einem vordefinierten Schwellwert nicht genügt, diesen also

beispielsweise unterschreitet, so kann die virtuelle Komponente 308a' trotzdem in der Simulationsumgebung 306 verbleiben und/oder in der Datenbank 316 gespeichert und/oder wieder aus der Simulationsumgebung 306 entfernt werden.

Sollte die Simulation und Evaluation der virtuellen Komponente 308a' durch das Berechnungsmodul 314 jedoch zu einer Bewertung führen, welche dem vordefinierten Schwellwert genügt, diesem also beispielsweise gleicht oder diesen überschreitet, so kann, wie durch Pfeil 318 angedeutet, anhand der geänderten virtuellen Komponente 308a' eine geänderte reale Komponente 304a' vorgeschlagen und als Standardkomponente im Baukastensystems 302 vorgesehen werden. Diese virtuelle Komponente 308a' kann in der Simulationsumgebung 306 als digitaler Zwilling der geänderten realen Komponente 304a' verbleiben und/oder in der Datenbank 316 gespeichert werden.

Neben den virtuellen Komponenten, welche digitale Zwillinge der realen Komponenten des Baukastensystems 302 darstellen, kann das Berechnungsmodul auch neue virtuelle Komponenten 308b, 308c vorschlagen, welche in der Simulationsumgebung 306 eingefügt und danach simuliert und evaluiert werden können.

Die Simulation und Evaluierung der virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung 306 kann auch als eine automatisierte Suche nach einer optimalen Zusammensetzung der Komponenten des realen Baukastensystems 302 betrachtet werden. Bei der automatisierten Suche kann (ständig) ein Abgleich mit realen Einflussfaktoren auf den realen Baukastensystem 302 stattfinden, woraus eine optimale Zusammensetzung des Baukastensystems 302 ableitbar ist. So können neue Komponenten im Baukastensystem 302 vorgesehen, bestehende Komponenten 304 aus dem Baukastensystem 302 entfernt und/oder beispielsweise bereits abgekündigte Komponenten im Baukastensystem 302 wieder vorgesehen werden. Auf diese Weise wächst die Anzahl an realen und virtuellen Komponenten, auf die die realen Einflussfaktoren einwirken können, die bei der Simulation und Evaluierung berücksichtigt werden. Das Auffinden einer bestmöglichen Zusammensetzung von Komponenten für das Baukastensystem 302 ohne oder nur mit geringer manueller

Nacharbeit verbessert sich mit wachsendem Datenbestand der realen und virtuellen Komponenten.

Das Baukastensystem 302 kann somit besser an die bestehenden Anforderungen angepasst und so optimiert werden. Vorzugsweise kann hierbei, beispielsweise als eine Einflussgröße, die Anzahl der realen Komponenten 304 im Baukastensystem 302 berücksichtigt werden, sodass die Anzahl der realen Komponenten 304 in einer optimalen Ausgestaltung oder Konfiguration des Baukastensystems 302 reduziert werden kann. Gleichzeitig kann die Anzahl der virtuellen Komponenten 308 in der Simulationsumgebung 306 stetig wachsen.

Das Baukastensystem 302 kann zur Auslegung von technischen Funktionseinheiten herangezogen werden, indem automatisch oder semi-automatisch Vorschläge für einzelne Funktionseinheiten generiert werden. Hierbei werden Daten der prozesstechnischen Anlage, welche beispielsweise von Kunden bereitgestellt sein können, als Eingangsgrößen betrachtet. Die Eingangsgrößen können eine oder mehrere aus mindestens einem KV-Wert, Nenngröße, Baugröße, Temperaturverlauf, Druckdifferenz, Prozessmedium, Kennlinie, Stellzeiten, Sicherheitsstellung, Diagnosefunktion, SIL-Klasse, EX-Schutz, Umgebungseinflüsse, Kommunikationsschnittstelle, Leistungsschnittstelle, und/oder Peripheriegeräte wie Durchflusssensor, Drucksensoren, und dergleichen in beliebiger Kombination umfassen.

Mittels mathematischer Unterstützung, beispielsweise anhand eines Produktkonfigurators oder einer vergleichbaren Komponente, die im Berechnungsmodul 314 ausgeführt werden kann, können Zusammenhänge und Wechselwirkungen der realen Komponenten 304 des Baukastensystems 302 berechnet werden. Es sollte verständlich sein, dass das Berechnungsmodul 314 nicht auf einen bestimmten Produktkonfigurator oder Software beschränkt ist und vielmehr eine beliebige Komponente, Modul oder Computerprogramm zur Ermittlung von Varianten einer Auslegung einer technischen Funktionseinheit im Berechnungsmodul 314 vorgesehen sein können. Vorzugsweise können einem Benutzer des

Produktkonfigurator (oder einer vergleichbaren Komponente) mögliche, beispielsweise nächstliegende Varianten der gewünschten Funktionseinheiten aus einem Standardlösungsraum des Baukastensystems 302 vorgeschlagen werden. Der Standardlösungsraum des Baukastensystems 302 ergibt sich hierbei aus Kombinationen der realen Komponenten 304. Dazu können ausgehend von einer ersten Ausgangskonfiguration mit Hilfe des Berechnungsmoduls 314 weitere Varianten der gewünschten Funktionseinheiten aus dem Standardlösungsraum des Baukastensystems 302 ermittelt werden. Den verschiedenen Varianten kann jeweils ein Erfüllungsgrad zugeordnet werden. Der Erfüllungsgrad kann in einem nachfolgenden Schritt allen Anforderungen einzeln zugeordnet werden, wodurch eine Betrachtung von Merkmalen und deren Einfluss auf den Erfüllungsgrad möglich ist.

Alternativ oder zusätzlich können allen Komponenten einer vorgeschlagenen Variante mindestens eines aus Kosten für eine Fertigung der derart konfigurierten Funktionseinheit, einer Komplexität der konfigurierten Funktionseinheit, zugehörigen Fertigungszeiten, einer Auslastung und/oder einem Wirtschaftlichkeitsfaktor, in beliebiger Kombination, zugeordnet werden, die als weitere Einflussgrößen bei der Simulation und Evaluierung berücksichtigt werden können.

Der Wirtschaftlichkeitsfaktor kann sich hierbei aus einem Bedarf der Komponente aus der Vergangenheit sowie einem Grad einer momentanen Automatisierung der Fertigung zusammensetzen. Diese Daten können rein intern bereitgestellt werden, sodass ein Benutzer keinen Zugriff auf sie hat.

Varianten oder alternative Komponenten mit vergleichbaren technischen Erfüllungsgraden können verglichen sowie neu geplante Komponenten, welche anhand von neuen virtuellen Komponenten 308b, 308c oder bestehenden virtuellen Komponenten, welche jedoch bisher keine Entsprechung im Baukastensystem 302 hatten, können ausgewertet werden. Die hierbei anfallenden Daten und alle Varianten können als historische Daten in der Datenbank 316 gespeichert werden. Diese Evaluierung führt zu Komponentenvorschlägen, welche unter wirtschaftlichen

Aspekten mit entsprechenden Vergleichsfaktoren und Erfüllungsgraden betrachtet werden.

Weitere Einflussfaktoren können historischen Daten aus einem laufenden Betrieb, wie Ausfallraten, Verschleißdaten, Diagnosedaten, welche auf Komponentenebene einen Einfluss haben können, und dergleichen, in beliebiger Kombination, umfassen und einer oder mehreren Komponenten zugeordnet werden können. Auch ungünstige oder nicht funktionierende Kombinationen von Komponenten können auf Komponentenebene abgebildet werden, sodass Korrelationen von Komponenten untereinander auf Komponentenebene beim Bestimmen von Varianten einer Auslegung von technischen Funktionseinheiten berücksichtigt werden können.

Kundendaten, welche bei der Ermittlung von Varianten einer Auslegung von technischen Funktionseinheiten herangezogen werden können, können ferner bevorzugte Komponenten und/oder eine Häufigkeit ähnlicher (früherer) Bestellungen definieren. Gleichteile können bei der Konfiguration von Varianten berücksichtigt werden, sodass eine Instandhaltung vereinfacht werden kann.

Alternativ oder zusätzlich können Kundendaten Probleme bei Anlagen eines Kunden oder fehlerhafte Kundenangaben aufweisen, welche bei der Ermittlung von Varianten einer Auslegung von technischen Funktionseinheiten herangezogen werden können, wodurch Fehler als auch für einen Kunden ungünstige Komponentenzusammenstellungen vermieden werden können.

Ferner können neue virtuelle Komponenten 308b, 308c sowie virtuelle Komponenten, welche früher einer realen Komponente 304 aus dem Baukastensystem 302 entsprachen, jedoch derzeit keiner realen Komponenten 304 entsprechen und daher als abgekündigte Komponenten bezeichnet werden können, mit Kundenanfragen und Kundenprofilen kombiniert werden, um zukünftig kundenbedarfsorientiert neue oder verbesserte Funktionseinheiten zu planen.

Hierbei kann in den Kundendaten eine bevorzugte Konfiguration oder eine zugehörige technische Firmenstrategie spezifiziert sein, wie ein Ausschluss bestimmter Branchen und Ventiltypen oder eine Bevorzugung von bestimmten Richtungen wie z.B. Cageventile. Diese Informationen können mit einem bestimmten Faktor versehen sein, welcher in den Berechnungen berücksichtigt werden kann, um Varianten der Auslegung der technischen Funktionseinheit anhand der in den Kundendaten spezifizierten gewünschten Konfigurationen zu bevorzugen.

Sämtliche Daten, beispielsweise historische Daten, Kundendaten, Einflussfaktoren und dergleichen, und aktuelle Daten können in der Datenbank 316 gespeichert werden. Die Datenbank 316 kann derart eingerichtet sein, dass die entsprechenden Daten von dem Berechnungsmodul 314 schnell abgerufen und zur Simulation der Simulationsumgebung 306 verwendet werden können.

Das Berechnungsmodul 314 kann die Simulation und Evaluierung der virtuellen Komponenten 308 in der Simulationsumgebung 306 auf einer oder mehreren Ebenen durchführen. Diese können eine Konfigurationsebene, eine Diagnoseebene, eine Wirtschaftlichkeitsebene und eine Strategieebene aufweisen. Die Konfigurationsebene kann hierbei die einzelnen Konfigurationsfaktoren, beispielsweise reale Einflussgrößen und dergleichen auf die realen (oder entsprechende virtuelle) Komponenten abbilden. Die Diagnoseebene kann insbesondere ein reales Verhalten von bestehenden Konfigurationen von technischen Funktionseinheiten und weitere Faktoren und Einflussgrößen, welche die Diagnose betreffen, in Betracht ziehen. Eine Wirtschaftlichkeitsebene kann insbesondere Kosten und Auslastung einer Herstellung der technischen Funktionseinheit gemäß vorgeschlagenen Varianten berücksichtigen. Ferner kann die Strategieebene kundenorientierte Präferenzen berücksichtigen, die technische Aspekte, wie beispielsweise kundenspezifische Ausgestaltungen von Funktionseinheiten, z.B. gewünschte Ventilorientierungen und dergleichen, aufweisen können.

Figur 4 stellt ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar. Das Verfahren kann ein Verfahren 400 zum Optimieren

eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage sein.

Das Verfahren kann auf einer oder mehreren Rechenvorrichtungen ausführbar sein. Die Rechenvorrichtungen können einen Speicher und mindestens einen Prozessor umfassen, der entsprechende Befehle aus dem Speicher auslesen und diese ausführen kann, sodass die Rechenvorrichtungen eingerichtet sind, zumindest Teile des Verfahrens 400 auszuführen. Das Verfahren kann auf einer lokalen Rechenvorrichtung oder auf einer Vielzahl von Rechenvorrichtungen, welche beispielsweise in einem Netzwerk oder einer Cloud angeordnet sein können, ausführbar sein. Zumindest Teile des Verfahrens 400 können beispielsweise auf dem Berechnungsmodul 314 aus Figur 3 ausführbar sein.

Das Verfahren kann mit Element 402 beginnen und nachfolgend in Element 404 ein Baukastensystem mit einer Vielzahl von Komponenten zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage bereitstellen. Das Baukastensystem kann in einer Simulationsumgebung derart abbildbar sein, dass jede Komponente aus der Vielzahl von Komponenten des Baukastensystems anhand ihrer physikalischen Eigenschaften als eine virtuelle Komponente mit entsprechenden Parametern in der Simulationsumgebung darstellbar ist.

Das Verfahren 400 kann mit Element 406 fortfahren, wobei Parameter der virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung variiert werden, um mindestens eine geänderte Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit mit mindestens einer der virtuellen Komponenten mit mindestens einem variierten Parameter zu bestimmen. Hierbei können die Parameter der virtuellen Komponenten durch ein Berechnungsmodul variiert werden, das für eine technische Funktionseinheit mindestens eine Variation eines Parameters einer virtuellen Komponente in der Simulationsumgebung bestimmen kann. Die Variation kann ferner auf der Grundlage von zugeordneten Attributen oder einer Korrelation der Attribute erfolgen.

Die Attribute können gewichtet sein. Die Attribute können Wechselwirkungen zwischen der jeweiligen virtuellen Komponente und einer oder mehreren anderen virtuellen Komponenten, mindestens einer technischen Funktionseinheit und/oder mindestens einer prozesstechnischen Anlage beschreiben. Alternativ oder zusätzlich können die Attribute mit mindestens einem aus historischen Diagnosedaten von Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen, reale Betriebsdaten von Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen, und virtuelle Betriebsdaten von simulierten virtuellen Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen verknüpft sein. Ferner können alternativ oder zusätzlich die Attribute mit mindestens einem aus Fertigungs-, Montage-, und/oder Inbetriebnahmeinformationen für mindestens eine entsprechende Komponente, technische Funktionseinheit und/oder prozesstechnischen Anlage verknüpft sein. Das Berechnungsmodul kann mit Trainingsdaten basierend auf den Attributen und verknüpften Informationen trainiert werden.

In Element 408 kann der Betrieb der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen geänderten Konfiguration simuliert werden, was jeweils zu Simulationsergebnissen 410 führen kann, die beispielsweise in der Datenbank 316 aus Figur 3 gespeichert werden können. Das Verfahren 400 kann iterativ mit Element 406 fortfahren, indem die Parameter von virtuellen Komponenten weiter variiert und nachfolgend in Element 408 erneut simuliert werden können.

Anhand der Simulationsergebnisse 410 kann das Verfahren 400 in Element 412 einen Satz von virtuellen Komponenten aus den virtuellen Komponenten mit variierten Parametern ermitteln. Der ermittelte Satz von virtuellen Komponenten kann zur Simulationsumgebung hinzugefügt werden, wodurch die Simulation in Element 408 beeinflusst werden kann.

Sowohl die Variation der Parameter, als auch der Satz von virtuellen Komponenten kann durch einen Entscheidungskern des Berechnungsmoduls ermittelt werden, wobei

der Entscheidungskern mit Daten trainiert wird, welche bereits konfigurierte Baukastensysteme für funktionale Einheiten von prozesstechnischen Anlagen spezifizieren können. Der Entscheidungskern kann hierbei Verfahren des maschinellen Lernens umsetzen. Vorzugsweise kann der Entscheidungskern mindestens ein statistisches Berechnungsmodul oder mindestens eine Support-Vector-Maschine und dergleichen vorsehen. Ferner können ein oder mehrere künstliche neuronale Netze oder ein Analysekern basierend auf einer logistischen Regression, einem Distanzklassifikator, einem Polynomklassifikator oder einem Clusterverfahren vorgesehen sein. Hierdurch kann anhand von verschiedenen Einflussgrößen, umfassend eines oder mehrere aus historischen Daten, aktuellen Daten, realen Einflussfaktoren, zugeordneten Attributen und ihren Korrelationen, und dergleichen, sowie anhand von bestehenden und historischen virtuellen Komponenten ein für das Baukastensystem optimaler Satz von virtuellen Komponenten ermittelt werden.

Der ermittelte Satz von virtuellen Komponenten kann in Element 414 verwendet werden, um eine oder mehrere Komponenten des realen Baukastensystems anzupassen und so ein optimiertes Baukastensystem anzugeben, welches zukünftig gefertigt und verwendet werden kann.

Das Verfahren kann in Element 416 enden.

Es ist verständlich, dass die einzelnen Schritte oder Teile des Verfahrens 400 sequenziell oder parallel ausgeführt werden können. So kann beispielsweise die Simulation in Elementen 406 und 408 durchgeführt werden, während gleichzeitig anhand von früheren Simulationsergebnissen 410 die Ermittlung des Satzes von virtuellen Komponenten in Element 412 erfolgt. Somit kann parallel zur Simulation der ermittelte Satz von virtuellen Komponenten der Simulationsumgebung hinzugefügt werden, wobei die Simulation unmittelbar auf die neu hinzugefügten virtuellen Komponenten zurückgreifen kann.

Die Merkmale der einzelnen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können in einer beliebigen Kombination in weiteren Ausführungsformen der vorliegenden

Erfindung vorgesehen sein und die vorliegende Erfindung ist nicht auf eine bestimmte oder isolierte Merkmalskombination von Ausführungsformen beschränkt.

BEZUGSZEICHENLISTE

102a, 102b, ..., 102n	virtuellen Komponenten
104	Parameter
106	Attribute
202	Wertebereich
204, 206	oberer Wertebereich, unterer Wertebereich
302	Baukastensystem
304	reale Komponenten
306	Simulationsumgebung
308	virtuelle Komponenten
308a, 308a'	virtuelle Komponente und geänderte virtuelle Komponente
308b, 308c	neue virtuelle Komponenten
310	digitales Abbilden
312	Einstellen einer virtuellen Komponente
314	Berechnungsmodul
316	Datenbank
318	Vorsehen einer geänderten realen Komponente
400	Verfahren
402, 416	Start und Ende des Verfahrens
404	Bereitstellen eines Baukastensystems
406	Variieren von Parametern
408	Simulieren des Betriebs einer technischen Funktionseinheit
410	Simulationsergebnisse
412	Ermitteln eines Satzes von virtuellen Komponenten
414	Anpassen von Komponenten des Baukastensystems

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, umfassend:
Bereitstellen (404) eines Baukastensystems mit einer Vielzahl von Komponenten zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, wobei das Baukastensystem in einer Simulationsumgebung derart abbildbar ist, dass jede Komponente aus der Vielzahl von Komponenten des Baukastensystems anhand ihrer physikalischen Eigenschaften als eine virtuelle Komponente mit entsprechenden Parametern in der Simulationsumgebung darstellbar ist;
Variieren (406) von Parametern der virtuellen Komponenten in der Simulationsumgebung, um mindestens eine geänderte Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit mit mindestens einer der virtuellen Komponenten mit mindestens einem variierten Parameter zu bestimmen, und Simulieren (408) des Betriebs der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen geänderten Konfiguration;
Ermitteln (412) eines Satzes von virtuellen Komponenten aus den virtuellen Komponenten mit variierten Parametern basierend auf Ergebnissen (410) der Simulation; und
Anpassen (414) einer oder mehrerer Komponenten des Baukastensystems anhand des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten.
2. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner ein Hinzufügen des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten zur Simulationsumgebung umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei jeder virtuellen Komponente ein oder mehrere Attribute zugeordnet sind, welche Wechselwirkungen zwischen der virtuellen Komponente und einer oder mehreren aus mindestens einer anderen virtuellen Komponente, mindestens einer technischen Funktionseinheit und/oder mindestens einer prozesstechnischen Anlage beschreiben.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Attribute ferner mit mindestens einem aus historischen Diagnosedaten von Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen, reale Betriebsdaten

von Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen, und virtuelle Betriebsdaten von simulierten virtuellen Komponenten, technischen Funktionseinheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen verknüpft sind.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Attribute mit mindestens einem aus Fertigungs-, Montage-, und/oder Inbetriebnahmeinformationen für mindestens eine entsprechende Komponente, technische Funktionseinheit und/oder prozesstechnischen Anlage verknüpft sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei die Attribute mindestens eine Gewichtung aufweisen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei das Variieren (406) der Parameter auf der Grundlage der Attribute und/oder einer Korrelation der Attribute erfolgt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Parameter der virtuellen Komponenten durch ein Berechnungsmodul variiert werden (406), das für eine technische Funktionseinheit mindestens eine Variation eines Parameters einer virtuellen Komponente in der Simulationsumgebung bestimmt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, das ferner ein Trainieren des Berechnungsmoduls mit Trainingsdaten basierend auf den Attributen und verknüpften Informationen umfasst.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ermitteln (412) des Satzes von virtuellen Komponenten ein Anwenden eines Suchalgorithmus zum Auffinden einer optimierten Kombination von virtuellen Komponenten zur Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage aufweist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Satz von virtuellen Komponenten durch einen Entscheidungskern des Berechnungsmoduls ermittelt wird, wobei der Entscheidungskern mit Daten

trainiert wird, welche bereits konfigurierte Baukastensysteme für funktionale Einheiten von prozesstechnischen Anlagen spezifizieren.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Berechnungsmodul eines oder mehrere aus einem statistischen Entscheidungskern oder einer Support-Vector-Maschine und dergleichen, oder mindestens einem künstlichen neuronalen Netz oder einem Analysekernel basierend auf einer logistischen Regression, einem Distanzklassifikator, einem Polynomklassifikator oder einem Clusterverfahren aufweist.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die technische Funktionseinheit mindestens eine Feldgerätstation aufweist, wie eine Stellarmatur, eine Pumpe, einen Sensor oder dergleichen, und wobei die prozesstechnische Anlage eine chemische Anlage, eine Lebensmittel verarbeitende Anlage, ein Kraftwerk oder dergleichen ist.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die prozesstechnische Anlage anhand von betriebsspezifischen Anlagenmerkmalen, aufweisend Art eines Prozessmediums, Prozessfluidströmung, Anzahl von Feldgerätstationen, Anlagenumgebung oder dergleichen, in der Simulationsumgebung abbildbar ist.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Simulieren wenigstens eine Betriebsgröße, wie eine Regelgröße, beispielsweise Temperatur, Druck, Durchfluss oder dergleichen, der abgebildeten prozesstechnischen Anlage beeinflusst.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die variierten Parameter mindestens eines aus einem Geometrieparameter oder einem Leistungsparameter aufweisen, wie eine Stellantriebskraft, eine Pumpenleistung, ein KV-Wert oder dergleichen
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner ein wiederholtes Variieren (406) von Parametern, um mindestens eine weitere geänderte Konfiguration der mindestens einen technischen Funktionseinheit zu bestimmen, und ein wiederholtes Simulieren (408) des Betriebs der mindestens

einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen weiteren geänderten Konfiguration umfasst.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Simulationsumgebung zumindest teilweise auf einer verteilten Rechenumgebung bereitgestellt ist, welche eingerichtet ist, den Betrieb von einer aus der mindestens einen technischen Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage für eine aus der mindestens einen geänderten Konfiguration zu simulieren.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner ein Bereitstellen des geänderten Baukastensystems zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten der prozesstechnischen Anlage umfasst.
20. Ein oder mehrere Datenträger mit darauf gespeicherten Befehlen, die, wenn sie von einem oder mehreren Prozessoren einer Rechenvorrichtung ausgeführt werden, die Rechenvorrichtung einrichten, ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.
21. Rechenvorrichtung, die zum Optimieren eines Baukastensystems für technische Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage eingerichtet ist, wobei die Rechenvorrichtung mindestens einen Prozessor umfasst, der eingerichtet ist zum:
Bereitstellen eines Baukastensystems (302) mit einer Vielzahl von Komponenten (304) zur Konfiguration von technischen Funktionseinheiten einer prozesstechnischen Anlage, wobei das Baukastensystem (302) in einer Simulationsumgebung (306) derart abbildbar ist, dass jede Komponente aus der Vielzahl von Komponenten (304) des Baukastensystems (302) anhand ihrer physikalischen Eigenschaften als eine virtuelle Komponente (308) mit entsprechenden Parametern in der Simulationsumgebung (306) darstellbar ist; Variieren von Parametern der virtuellen Komponenten (308) in der Simulationsumgebung (306), um mindestens eine geänderte Konfiguration mindestens einer technischen Funktionseinheit mit mindestens einer der virtuellen Komponenten (308a') mit mindestens einem variierten Parameter zu bestimmen, und Simulieren des Betriebs der mindestens einen technischen

Funktionseinheit der prozesstechnischen Anlage mit der mindestens einen geänderten Konfiguration;
Ermitteln eines Satzes von virtuellen Komponenten aus den virtuellen Komponenten (308) mit variierten Parametern basierend auf Ergebnissen der Simulation; und
Bestimmen eines angepassten Baukastensystems mit mindestens einer angepassten Komponente (304a'), deren physikalische Eigenschaften anhand des ermittelten Satzes von virtuellen Komponenten angepasst sind.

22. System mit mindestens einer Rechenvorrichtung nach Anspruch 21.
23. System nach Anspruch 22, das ferner eine oder mehrere Datenbanken umfasst, welche historische oder aktuelle Daten zu Komponenten und/oder funktionalen Einheiten und/oder prozesstechnischen Anlagen speichern.

1/3

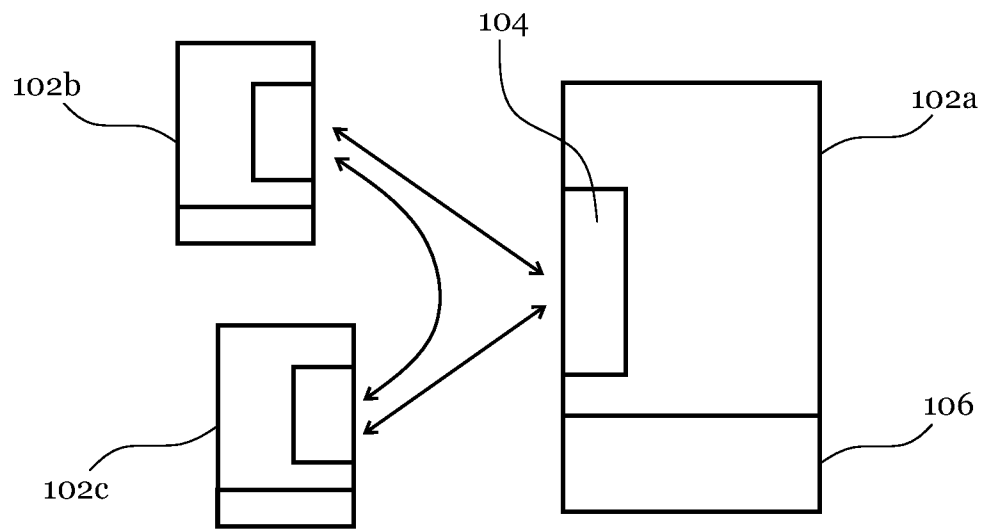


Fig. 1

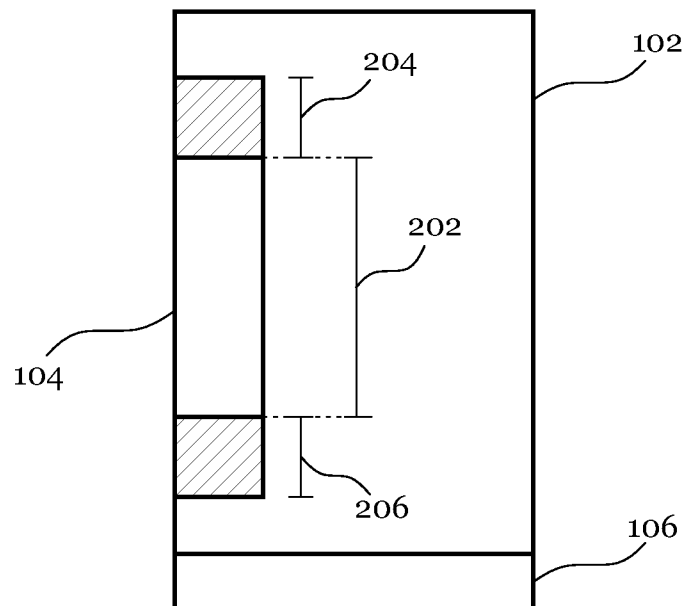
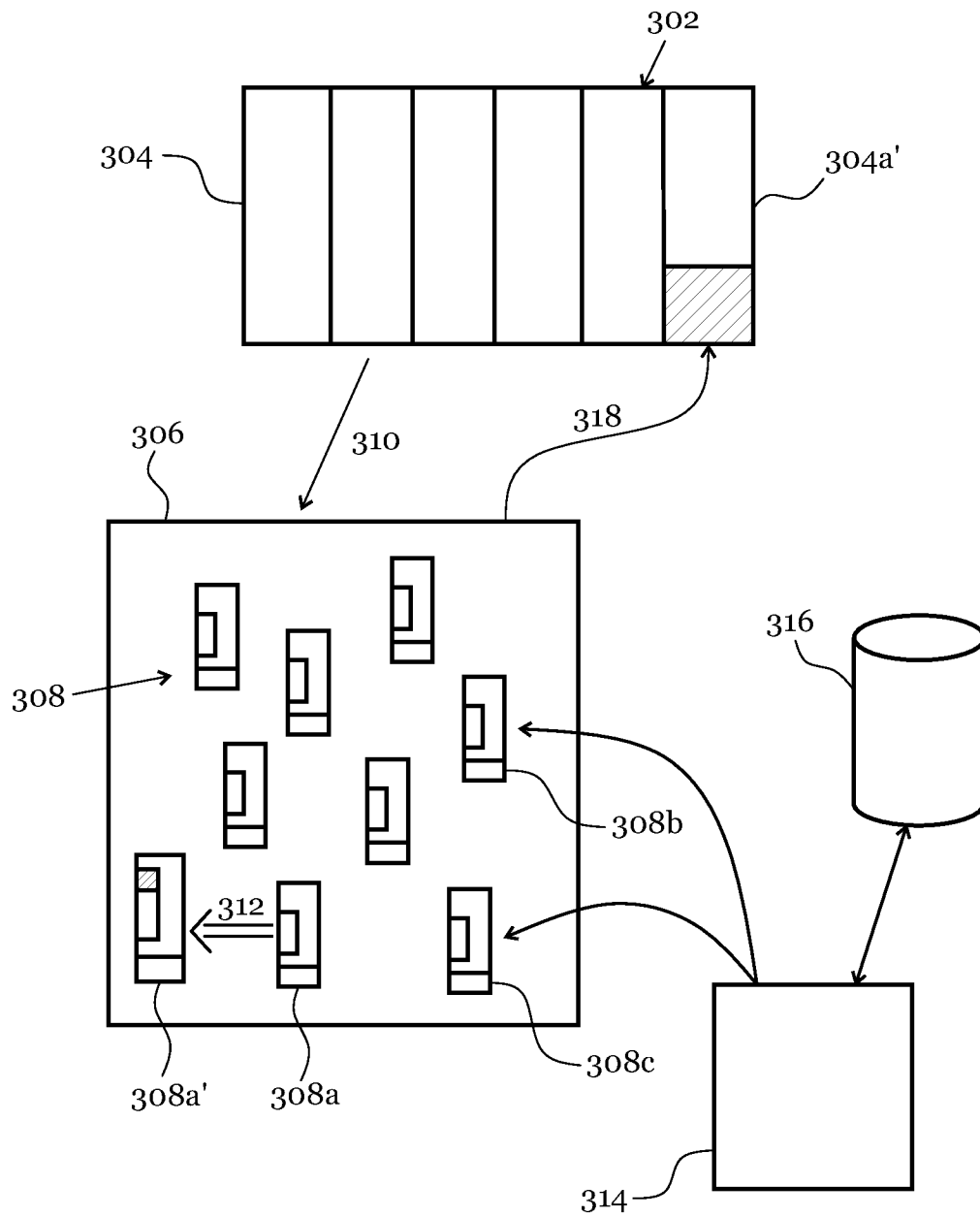
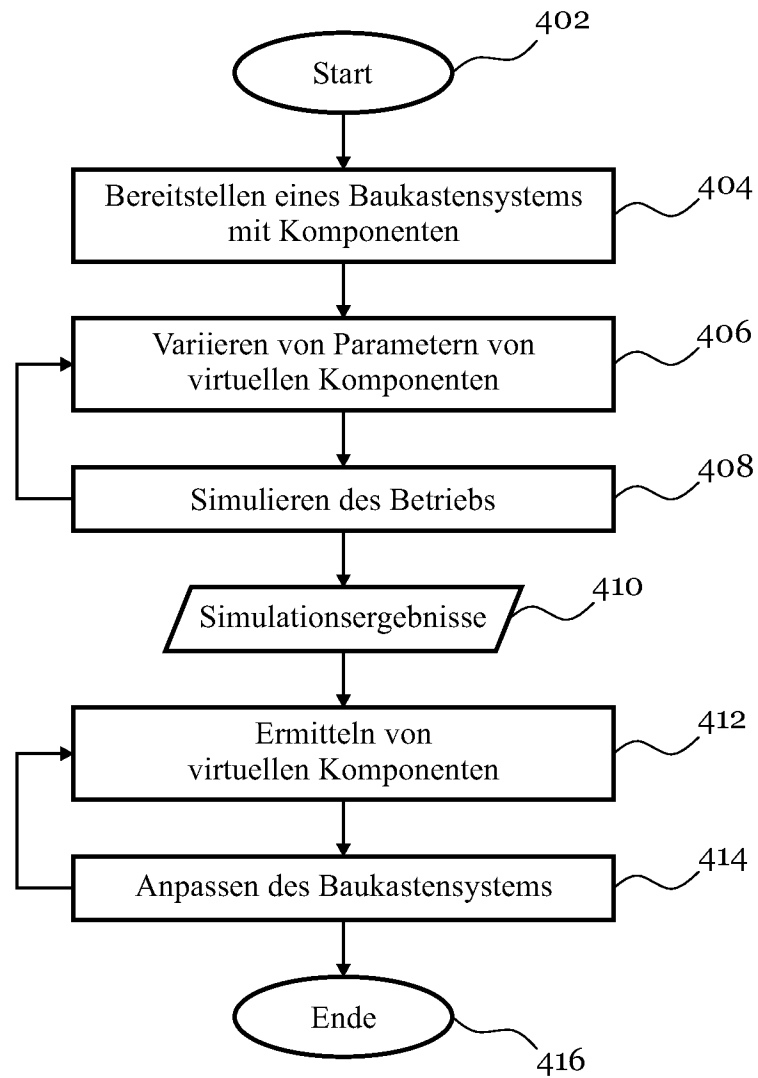


Fig. 2

**Fig. 3**

3/3

400**Fig. 4**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/072791

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06F 30/17**(2020.01)i; **G05B 19/418**(2006.01)i; **G06F 30/20**(2020.01)i; **G06F 30/27**(2020.01)i; **G06F 111/20**(2020.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F; G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HUANG PENG ET AL. "Modular Flexible Assembly System for Large-Scale Structures" 2015 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SCIENCE AND CONTROL ENGINEERING, IEEE, 24 April 2015 (2015-04-24), pages 815-819 DOI: 10.1109/ICISCE.2015.186 XP032783927 abstract page 815, column 1, paragraph 1 - column 2, paragraph 2 page 817, column 1, paragraph 4 - column 2, paragraph 2 figures 4,5 page 818, column 1, paragraph 2 - column 2, paragraph 1 figure 6	1-23



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 October 2020

Date of mailing of the international search report

30 October 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Sohrt, Wolfgang

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/072791

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LINZHEN ZHOU ET AL. "A Research on Intelligent Modular Machine Tool Design System Based on KBE" <i>INTELLIGENT SYSTEM DESIGN AND ENGINEERING APPLICATION (ISDEA)</i> , 2012 <i>SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE</i> , 06 January 2012 (2012-01-06), pages 93-96 DOI: 10.1109/ISDEA.2012.426 ISBN: 978-1-4577-2120-5. XP032154962 abstract page 94, column 1, paragraph 2 figure 2	1-23

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G06F30/17 G05B19/418 G06F30/20 G06F30/27
 ADD. G06F111/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G06F G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	HUANG PENG ET AL: "Modular Flexible Assembly System for Large-Scale Structures", 2015 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SCIENCE AND CONTROL ENGINEERING, IEEE, 24. April 2015 (2015-04-24), Seiten 815-819, XP032783927, DOI: 10.1109/ICISCE.2015.186 [gefunden am 2015-06-09] Zusammenfassung Seite 815, Spalte 1, Absatz 1 - Spalte 2, Absatz 2 Seite 817, Spalte 1, Absatz 4 - Spalte 2, Absatz 2 Abbildungen 4,5 Seite 818, Spalte 1, Absatz 2 - Spalte 2, Absatz 1 Abbildung 6 -/-	1-23



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. Oktober 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/10/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Sohrt, Wolfgang

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	----- LINZHEN ZHOU ET AL: "A Research on Intelligent Modular Machine Tool Design System Based on KBE", INTELLIGENT SYSTEM DESIGN AND ENGINEERING APPLICATION (ISDEA), 2012 SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, 6. Januar 2012 (2012-01-06), Seiten 93-96, XP032154962, DOI: 10.1109/ISDEA.2012.426 ISBN: 978-1-4577-2120-5 Zusammenfassung Seite 94, Spalte 1, Absatz 2 Abbildung 2 -----	1-23