



(10) **DE 10 2018 123 792 A1** 2020.03.26

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 123 792.8**

(22) Anmeldetag: **26.09.2018**

(43) Offenlegungstag: **26.03.2020**

(51) Int Cl.: **G05B 17/02 (2006.01)**

G05B 13/04 (2006.01)

(71) Anmelder:

**thyssenkrupp AG, 45143 Essen, DE;
thyssenkrupp Industrial Solutions AG, 45143
Essen, DE**

(72) Erfinder:

**Schulz, Marcel, 44797 Bochum, DE; Scheckreiter,
Dirk, 58239 Schwerte, DE**

(74) Vertreter:

**Richardt Patentanwälte PartG mbB, 65185
Wiesbaden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2013 100 698 A1

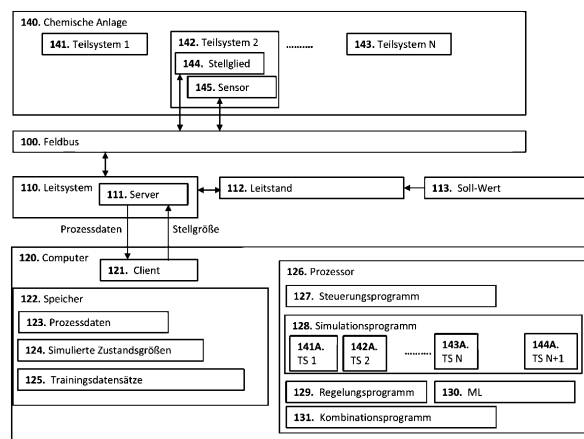
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Regelung eines chemischen Prozesses in einer großtechnischen chemischen Anlage**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage (140) durchgeführten chemischen Prozesses mit folgenden Schritten:

- sensorische Erfassung von Prozessdaten der chemischen Anlage (140),
- Übertragung der Prozessdaten an ein Leitsystem (110) über einen Feldbus (100),
- Übertragung zumindest einer Teilmenge der Prozessdaten von dem Leitsystem (110) an ein Computersystem (120), wobei das Computersystem (120) ein Simulationsprogramm (128) für eine stationäre und/oder dynamische Prozesssimulation des chemischen Prozesses, ein Regelungsprogramm (129) zur Implementierung eines Reglers für den chemischen Prozess und einen Speicher (122) zur Speicherung von simulierten Zustandsgrößen (124) aufweist,
- zyklisch wiederholte Berechnung der simulierten Zustandsgrößen des chemischen Prozesses durch das Simulationsprogramm (128) aus der Teilmenge der Prozessdaten (123) und Speicherung der simulierten Zustandsgrößen (124) in dem Speicher (122),
- Übertragung zumindest eines Soll-Wertes einer Regelungsgröße des chemischen Prozesses an das Regelungsprogramm (129),
- Lesen zumindest einer Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen (124) aus dem Speicher (122) zur Eingabe in das Regelungsprogramm (129),
- Ermittlung einer Stellgröße zur Erreichung des Soll-Wertes (113) durch das Regelungsprogramm (129) durch Verarbeitung der aus dem Speicher (122) gelesenen simulierten Zustandsgrößen (124),
- Übertragung der berechneten Stellgröße an das Leitsystem (110).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines chemischen Prozesses in einer großtechnischen chemischen Anlage. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein System zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage durchgeführten chemischen Prozesses sowie eine chemische Anlage mit einem derartigen System.

[0002] Ein stetiges Anliegen im Stand der Technik ist es, großtechnische chemische Anlagen mit einem erweiterten Prozessleitsystem (Advanced Process Control System) auszurüsten oder bereits bestehende Anlagen nachzurüsten, um den Anlagenbetrieb unter Berücksichtigung aller Sicherheitsregeln zu optimieren. Insbesondere bei komplex aufgebauten chemischen Produktionsanlagen, die eine Vielzahl von Teilsystemen (oft mehrere hundert) umfassen können, ist es das Ziel, die Steuerung, Transparenz, Wartung und Performance zu verbessern, sodass die Produktion entsprechend vorgegebener Sollwerte erreicht wird und zugleich ein Ausfall der chemischen Produktionsanlage, der in der Regel mit erheblichen Kosten verbunden ist, vermieden werden kann.

[0003] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin einen verbesserten großtechnischen, chemischen Anlagenbetrieb bereitzustellen.

[0004] Demgemäß wird zur Lösung der Aufgabe ein Verfahren zur Regelung eines chemischen Prozesses in einer großtechnischen, chemischen Anlage vorgeschlagen. Bei der zu regelnden großtechnischen, chemischen Anlage kann es sich um eine Produktionsanlage, insbesondere eine chemische Produktionsanlage, handeln. Die Anlage kann aus einer Vielzahl von Teilsystemen (z.B. 5 - 10 oder mehr) aufgebaut sein kann. Ein Teilsystem zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass es sich um eine eigenständig funktionsfähige Baugruppe handeln kann, dessen Funktion vorzugsweise direkten Einfluss auf die Produktion oder den Produktionsfluss hat. Beispielsweise kann die zu regelnde Anlage eine Anlage zur Herstellung von Schwefelsäure, Koks, Polymeren, Düngemitteln, Synthesegas, Zement, Harnstoff, Ammoniumnitrat oder eine Anlage zur Wasserentsalzung sein.

[0005] Das Verfahren umfasst die Schritte:

- sensorische Erfassung von Prozessdaten der chemischen Anlage,
- Übertragung der Prozessdaten an ein Leitsystem über einen Feldbus,
- Übertragung zumindest einer Teilmenge der Prozessdaten von dem Leitsystem an ein Com-

putersystem, wobei das Computersystem ein Simulationsprogramm für eine stationäre und/oder dynamische Prozesssimulation des chemischen Prozesses, ein Regelungsprogramm zur Implementierung eines Reglers für den chemischen Prozess und einen Speicher zur Speicherung von simulierten Zustandsgrößen aufweist,

- zyklisch wiederholte Berechnung der simulierten Zustandsgrößen des chemischen Prozesses durch das Simulationsprogramm aus der Teilmenge der Prozessdaten und Speicherung der simulierten Zustandsgrößen in dem Speicher,
- Übertragung zumindest eines Soll-Wertes einer Regelungsgröße des chemischen Prozesses an das Regelungsprogramm,
- Lesen zumindest einer Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen aus dem Speicher zur Eingabe in das Regelungsprogramm,
- Ermittlung einer Stellgröße zur Erreichung des Soll-Wertes durch das Regelungsprogramm durch Verarbeitung der aus dem Speicher gelesenen simulierten Zustandsgrößen und
- Übertragung der berechneten Stellgröße an das Leitsystem.

[0006] Unter einer „simulierten Zustandsgröße“ wird hier eine real zum Zeitpunkt der Simulation vorhandene Zustandsgröße der chemischen Anlage, wie z.B. ein Parameterwert verstanden, für den kein durch einen Sensor erfasster Wert vorliegt, beispielsweise weil ein Sensor ausgefallen ist oder kein Sensor hierfür vorhanden ist.

[0007] Durch die vorgenannten Verfahrensschritte wird vorteilhaft erreicht, dass eine dynamische Prozesssimulation zur Ermittlung von Zustandsgrößen durch Simulation des laufenden Anlagenbetriebs durchgeführt wird, wobei die ermittelten Zustandsgrößen für die Regelung des Anlagenbetriebs in Echtzeit einsetzbar sind.

[0008] Die Erfassung von realen Prozessdaten der chemischen Anlage erfolgt durch Sensoren, die dazu eingerichtet sind, mindestens einen Parameterwert bzw. Prozessdaten oder Zustandsgrößen, welche die Anlage betrifft, zu messen. Die von den Sensoren erfassten Prozessdaten werden über einen Feldbus zu einem Leitsystem übertragen. Das Leitsystem dient dazu einen komplexen zeitlichen und materiell-inhaltlichen Planungs- und Istablauf übersichtlich darstellen und den steuernden menschlichen Eingriff zu unterstützen oder zu ermöglichen. Die Verwendung eines Feldbusses zur Übertragung der von den Sensoren erfassten Prozessdaten ist vorteilhaft, da der Feldbus die parallelen Leitungsbündel der einzelnen Sensoren zu dem Leitsystem durch ein einziges Buskabel ersetzt. Feldbusse, die für die chemische Anlage eingesetzt werden können, sind insbesondere

ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Ethernet Powerlink, EtherNet/IP, CANopen, ARCNET, AS-Interface, EtherCAT und PROFIBUS. Zumindest eine Teilmenge der von den Sensoren erfassten Prozessdaten wird von dem Leitsystem an ein Computersystem übertragen, wobei das Computersystem ein Simulationsprogramm für eine stationäre und/oder dynamische Prozesssimulation des chemischen Prozesses, ein Regelungsprogramm zur Implementierung eines Reglers für den chemischen Prozess und einen Speicher zur Speicherung von simulierten Zustandsgrößen aufweist. Der Regler, der durch das Regelungsprogramm implementiert wird, kann beispielsweise ein Standardregler mit P-, PI-, PD- und PID-Verhalten sein. Für ein besseres dynamisches Verhalten der Regelgröße kann auch ein unstetiger Regler, wie beispielsweise ein Zweipunktregler, Mehrpunktregler und Fuzzy-Regler implementiert werden. Da es sich bei der chemischen Anlage um eine komplexere Regeleinrichtungen mit nichtlinearen Regelstrecken oder mehreren miteinander verknüpften Regelgrößen und Stellgrößen handeln kann, ist ebenfalls vorstellbar, dass ein angepasster Regler durch das Regelungsprogramm implementiert wird, wie beispielsweise ein digitaler Regler für vermaschte Regelungen, Mehrgrößenregelungen, Regelungen im Zustandsraum oder modellbasierte Regelungen. In dem Computersystem findet eine zyklisch wiederholte Berechnung der simulierten Zustandsgrößen des chemischen Prozesses durch das Simulationsprogramm aus der Teilmenge der Prozessdaten und Speicherung der simulierten Zustandsgrößen in dem Speicher, z.B. Arbeitsspeicher, statt. Wenigstens ein Soll-Wert einer Regelungsgröße des chemischen Prozesses wird ebenfalls an das Regelungsprogramm übertragen, wobei der wenigstens eine Soll-Wert, wobei für eine chemische Anlage selbstverständlich mehrere Sollwerte vorgegeben werden können, manuell durch einen Nutzer, durch das Leitsystem oder durch Abruf hinterlegter Tabellen oder Werte aus Datenbanken eingepflegt wird. Weiterhin wird in das Regelungsprogramm zumindest eine Teilmenge der in dem Computersystem gespeicherten simulierten Zustandsgrößen zur Eingabe in das Regelungsprogramm eingelesen, wonach wenigstens eine Stellgröße zur Erreichung des Soll-Wertes durch das Regelungsprogramm durch Verarbeitung der aus dem Speicher gelesenen simulierten Zustandsgrößen ermittelt wird. Die berechnete Stellgröße wird an das Leitsystem übertragen. Von dem Leitsystem kann die ermittelte Stellgröße über einen Feldbus, wobei der Feldbus derselbe Feldbus wie oben beschrieben sein kann, an ein Stellglied in der chemischen Anlage übertragen werden.

[0009] Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Leitsystem einen Server beinhalten und das Computersystem einen Client beinhalten, wobei der Server und der Client so konfiguriert sind, dass der Client auf den

Server einen Lesezugriff durchführen kann, sodass die Teilmenge der Prozessdaten von dem Server an den Client übertragen wird und dass der Client auf den Server einen Schreibzugriff durchführen kann, um die berechnete Stellgröße an das Leitsystem zu übertragen.

[0010] Durch die Verwendung einer Client-Server-Lösung entsteht vorteilhaft eine Schnittstelle zwischen einem Computer und dem Leitsystem, über welche Daten ausgetauscht werden können, ohne dass die Echtzeitfähigkeit des Leitsystems beeinträchtigt wird. Ein weiterer Vorteil der Client-Server-Lösung ist, dass die Ankopplung des bzw. eines Computersystems an das Leitsystem der chemischen Anlage standortunabhängig erfolgen kann. Weiterhin wird durch die Client-Server-Lösung vorteilhaft erreicht, dass eine höhere Zugriffssicherheit gegeben ist, da sich der Client vor dem Zugriff auf spezielle Daten beim Server authentifizieren muss. Zudem ist das Hinzufügen und Trennen von Clients möglich, ohne dass der Betrieb der chemischen Anlage beeinträchtigt wird.

[0011] Für dieses Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens kann weiterhin vorteilhaft vorgesehen sein, dass der Server des Leitsystems ein OPC-Server ist und der Client des Computersystems ein OPC-Client ist. OPC kann vorteilhaft für Echtzeitdaten (Überwachung), Datenarchivierung, Alarm-Meldungen und auch direkt zur Steuerung (Befehlsübermittlung) eingesetzt werden. Die Verwendung von OPC-Client und OPC-Server, vorzugsweise mit OPC Unified Architecture (OPC UA) Spezifikation ist insbesondere von Interesse, da hierbei kein COM-Interface, sondern eine WSDL (Web Services Description Language) beschrieben wird, die nach COM und in verschiedene Webservice-Protokolle umgesetzt werden kann, womit die Portabilität sichergestellt wird. Ein weiterer Vorteil der OPC Unified Architecture (OPC UA) Spezifikation ist, dass insgesamt sowohl die Skalierbarkeit als auch die Sicherheit gesteigert wurden.

[0012] Weiterhin kann vorgesehen sein, dass der Client als Master und der Server als Slave ausgebildet sind.

[0013] Für die Ausgestaltung, dass das Leitsystem einen Server beinhaltet und das Computersystem einen Client beinhaltet, wobei der Client als Master und der Server als Slave ausgebildet sein kann, kann weiterhin vorgesehen sein, dass das Leitsystem über eine Computerschnittstelle zum Anschluss des Computersystems verfügt, über die eine direkte Kommunikationsverbindung zwischen dem Leitsystem und dem Computersystem aufgebaut wird und zumindest die Übertragung der Teilmenge der Prozessdaten und die Übertragung der Stellgröße über die direkte Kommunikationsverbindung erfolgt.

[0014] Die Computerschnittstelle zum Anschluss des Computersystems, über die eine direkte Kommunikationsverbindung zwischen dem Leitsystem und dem Computersystem aufgebaut wird, kann beispielsweise durch eine Standard-Computerschnittstelle, wie z.B. USB, Ethernet, WLAN, LAN, Bluetooth oder andere bekannte Schnittstellen, realisiert sein. Aus Sicherheitsaspekten kann vorgesehen sein, dass die Computerschnittstelle ein Kabel umfasst bzw. eine Kabelverbindung (point-to-point) ist oder eine drahtlose Schnittstelle ist, wobei letztere eine Nahfeldkommunikation (NFC, Near Field Communication) oder eine Verschlüsselung aufweisen kann.

[0015] Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht weiterhin vor, dass die Stellgröße von dem Leitsystem über den Feldbus an ein Stellglied übertragen wird.

[0016] Das Stellglied kann durch diese Ausgestaltung gezielt in die Steuer- oder Regelstrecke eingreifen.

[0017] Eine weitere Ausgestaltung des Verfahrens sieht weiterhin vor, dass das Computersystem ein Machine-Learning-Modul beinhaltet, wobei zum Trainieren des Machine-Learning-Moduls Trainingsdatensätze verwendet werden, die zumindest die Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen und die daraus von dem Regelungsprogramm berechneten Stellgrößen beinhalten.

[0018] Machine-Learning ist aus dem Stand der Technik bekannt, vergleiche z.B. GOODFELLOW et al., Deep Learning, The MIT Press, 2017, ISBN 9780262035613.

[0019] Die Trainingsdatensätze zum Trainieren des Machine-Learning-Moduls können hierbei die in den Prozessdaten beinhaltete Antwort der chemischen Anlage auf die Stellgröße beinhalten.

[0020] Eine Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass nach Training des Machine-Learning-Moduls von dem Regelungsprogramm auf das Machine-Learning-Modul umgeschaltet wird, so dass dieses durch das Machine-Learning-Modul ersetzt wird, und sodass die Stellgröße aus den gelesenen Zustandsgrößen durch das Machine-Learning-Modul ermittelt wird.

[0021] Bei dieser Ausgestaltung kann, nach dem Training des Machine-Learning-Moduls, auf das Regelungsprogramm und/oder den Leitstand kurzzeitig oder längerfristig verzichtet werden. Diese Ausgestaltung ist insbesondere interessant für die Inbetriebnahme einer chemischen Anlage. Beispielsweise kann das Machine-Learning-Modul in einer bestehenden Anlage trainiert werden. Sobald das Machine-Learning-Modul sämtliche benötigte Trainingsläu-

fe abgeschlossen hat, kann es, da es zum Beispiel auf einem portablen Computersystem installiert ist, einfach mit dem Leitsystem der in Betrieb zu nehmenden chemischen Anlage verbunden werden und diese steuern bzw. regeln. Die Entscheidung, wann das Machine-Learning-Modul sämtliche benötigte Trainingsläufe abgeschlossen hat, kann beispielsweise über einen Konfidenzwert des Machine-Learning-Moduls festgelegt werden, wobei dieser Konfidenzwert größer als ein zuvor vergebener Schwellwert ist. Mit anderen Worten: Wenn das Machine-Learning-Modul eine Prognose mit einem Konfidenzwert abgeben kann, der größer als der Schwellwert ist, dann wird das Training abgeschlossen und/oder das Machine Learning-Modul anstelle oder zusätzlich zu dem Regelprogramm für die Regelung der Anlage eingesetzt.

[0022] Alternativ zu der vorgenannten Ausgestaltung kann vorgesehen sein, dass nach Training des Machine-Learning-Moduls die Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen auch in das Machine-Learning-Modul eingegeben wird, um eine machine-learning Stellgröße zu ermitteln und mit dem weiteren Schritt, dass die machine-learning Stellgröße und die durch das Regelungsprogramm ermittelte Stellgröße miteinander kombiniert werden, z.B. wird der Durchschnitt oder ein gewichteter Mittelwert gebildet, um eine resultierende Stellgröße zu ermitteln, wobei die resultierende Stellgröße an das Leitsystem übertragen wird.

[0023] Durch diese alternative Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorteilhaft, durch die Kombination der machine-learning Stellgröße (S_{ML}) und der durch das Regelungsprogramm ermittelten Stellgröße (S_R), erreicht werden, dass Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Stellgröße (S) seitens des Regelungsprogramms oder des Machine-Learning-Moduls ausgeglichen werden können.

[0024] Nach einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Machine-Learning-Modul eine Konfidenz (K ; wobei $0 \leq K \leq 1$) für die Ermittlung der Stellgröße berechnet und die kombinierte Stellgröße unter Berücksichtigung der jeweiligen Konfidenzen gewichtet ermittelt wird. Beispielsweise kann die Gewichtung des Ergebnisses für die Stellgröße aus dem Machine-Learning-Modul proportional oder identisch zu dem Konfidenzwert sein, mit dem das Machine-Learning-Modul das Ergebnis ermittelt hat. Somit kann die Stellgröße (S) eine Kombination aus der durch das Regelungsprogramm ermittelten Stellgröße (S_R) und der machine-learning Stellgröße (S_{ML}) sein. Weiterhin kann die Stellgröße (S) eine lineare Kombination aus der durch das Regelungsprogramm ermittelten Stellgröße (S_R) und der machine-learning Stellgröße (S_{ML}) sein (mathematisch darstellbar als $S = \alpha \cdot S_R + \beta \cdot S_{ML}$; wobei $\alpha + \beta = 1$). Ebenso kann die Stellgröße auch unter Berücksichtigung der jewei-

ligen Konfidenzen gewichtet ermittelt werden (mathematisch darstellbar als $S = (1 - K) \cdot S_R + K \cdot S_{ML}$).

[0025] Für beide alternativen Ausgestaltungen kann weiterhin vorgesehen sein, dass das Machine-Learning-Modul mit weiteren Trainingsdatensätzen trainiert wird, die aus dem weiteren Betrieb der chemischen Anlage durch die Regelung mittels des Machine-Learning-Moduls erzeugt werden.

[0026] Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein System zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage durchgeführten chemischen Prozesses vorgeschlagen. Hierbei ist das System zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens ausgebildet.

[0027] Gemäß einem weiteren Aspekt wird eine chemische Anlage mit einem System zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage durchgeführten chemischen Prozesses vorgeschlagen. Das System zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage durchgeführten chemischen Prozesses ist hierbei das zuvor beschriebene System, das zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens ausgebildet ist.

[0028] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die chemische Anlage eine Anlage zur Herstellung von Schwefelsäure, Koks, Polymeren, Düngemitteln, Synthesegas, Zement, Harnstoff, Ammoniumnitrat oder zur Wasserentsalzung ist.

[0029] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Aspekte der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung. Im Weiteren wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren näher, jedoch nicht darauf beschränkt, erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer chemischen Anlage mit einem System zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage durchgeführten chemischen Prozesses, wobei das System zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist, und

Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei die Erfassung von Prozessdaten, deren Übertragung an einen Computer, die Ermittlung von Zustandsgrößen und Stellgrößen, die Übertragung der Stellgrößen an das Leitsystem sowie Ermittlung der Stellgrößen aus den Zustandsgrößen für das Machine-Learning-Training schematisch dargestellt sind.

[0030] In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen worden, sofern nichts Weiteres angegeben ist.

[0031] Die **Fig. 1** zeigt eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels eines Systems gemäß der vorliegenden Erfindung. Das System umfasst eine chemische Anlage **140**, insbesondere eine großtechnische chemische Anlage, und ist zur Durchführung eines Verfahrens zur Regelung eines chemischen Prozesses ausgebildet. Hierfür kann das System neben der chemischen Anlage **140** einen Feldbus **100**, ein Leitsystem **110** sowie einen Computer **120** bzw. ein Computersystem umfassen. Die großtechnische chemische Anlage kann beispielsweise eine Anlage zur Herstellung von Schwefelsäure, Koks, Polymeren, Düngemitteln, Synthesegas, Zement, Harnstoff, Ammoniumnitrat oder eine Wasserentsalzungsanlage sein. Die chemische Anlage **140** umfasst eine Vielzahl von Teilsystemen **141**, **142**, **143**, wie beispielsweise Brenner, Trockner, Konverter oder funktionale Leitungen bzw. Verbindungen. Die funktionellen Leitungen bzw. Verbindungen können selbst Teilsysteme **141**, **142**, **143** sein oder Teilsysteme **141**, **142**, **143** untereinander verbinden. Weiterhin können die Teilsysteme **141**, **142**, **143** mehrfach in der chemischen Anlage verbaut sein. Jedes dieser Teilsysteme kann wenigstens ein Stellglied **144** sowie keinen, einen oder mehrere Sensoren **145** aufweisen. Ein Sensor **145** ist dazu eingerichtet, mindestens einen Parameterwert bzw. Prozessdaten, welche die Anlage **140** betrifft, zu messen. Ein oder mehrere Sensor/en **145** können zum Beispiel eingerichtet sein, ein Teilsystem **141**, **142**, **143** zu überwachen. Beispielsweise kann eine Temperatur des Teilsystems **141**, **142**, **143** und/oder der zu verarbeiteten Substanz von einem Sensor **145** erfasst werden. Darüber hinaus kann ein Sensor eingerichtet sein weitere Prozessdaten, wie beispielsweise Positionsdaten, Durchflussmengen und/oder Zustandsdaten des Teilsystems **141**, **142**, **143** zu erfassen. Die von dem Sensor erfassten Prozessdaten können über einen Feldbus **100** mit einem Leitsystem **110** übertragen oder ausgetauscht werden.

[0032] Wie dargestellt, ist ebenfalls vorgesehen, dass wenigstens ein Sollwert **113** über einen optionalen Leitstand **112** zu dem Leitsystem **110** übertragen wird. Der wenigstens eine Sollwert kann durch Nutzereingabe, durch das Leitsystem oder durch Abruf hinterlegter Tabellen oder Werte aus Datenbanken zu dem Leitsystem **110** übertragen werden.

[0033] Zumindest eine Teilmenge der Prozessdaten **123** wird von dem Leitsystem **110** an ein Computersystem **120** übertragen (s. Pfeil von **111** nach **121**).

[0034] Wie dargestellt, kann vorgesehen sein, dass das Leitsystem **110** einen Server **111** beinhaltet und das Computersystem **120** einen Client **121** beinhaltet.

tet, wobei der Server **111** und der Client **121** so konfiguriert sind, dass der Client **121** auf den Server **111** einen Lesezugriff, z.B. mittels eines request-response Protokolls, durchführen kann, sodass die Teilmenge der Prozessdaten von dem Server **111** an den Client **121** übertragen wird. Es ist ebenfalls vorstellbar, dass der Client **121** als Master ausgebildet ist und der Server **111** als Slave ausgebildet ist. Das Leitsystem **110** kann über eine Computerschnittstelle, z.B. eine Hardwareschnittstelle wie PCI-Bus, AGP, SCSI, USB, FireWire und EIA-232 oder Bluetooth, IrDA, WLAN, zum Anschluss des Computersystems **120** verfügen, über die eine direkte Kommunikationsverbindung zwischen dem Leitsystem **110** und dem Computersystem **120** aufgebaut wird und zumindest die Übertragung der Teilmenge der Prozessdaten **123** und die Übertragung der Stellgröße über die direkte Kommunikationsverbindung erfolgt.

[0035] Wie dargestellt, umfasst das Computersystem **120** wenigstens ein Simulationsprogramm **128** für eine stationäre und/oder dynamische Prozesssimulation des chemischen Prozesses, ein Regelungsprogramm **129** zur Implementierung eines Reglers für den chemischen Prozess und einen Speicher **122**, z.B. ein Arbeitsspeicher, zur Speicherung von simulierten Zustandsgrößen **124**.

[0036] In dem Computersystem **120** findet die zyklisch wiederholte Berechnung der simulierten Zustandsgrößen des chemischen Prozesses durch das Simulationsprogramm **128** aus der Teilmenge der Prozessdaten **123** sowie die Speicherung der simulierten Zustandsgrößen **124** in dem Speicher **122** statt. Das Simulationsprogramm **128** kann, wie dargestellt, mehrere Teilsystem-Programmmodule (**TS 1**, **TS2**, ..., **TS N**) **141A**, **142A**, **143A** aufweisen, die jeweils zur Simulation eines Teilsystems (Teilsystem **1**, Teilsystem **2**, Teilsystem **N**) **141**; **142**; **143** der chemischen Anlage **140** konfiguriert sind. Das Teilsystem-Programmmodul (**TS 1**) **141A** ist in diesem Ausführungsbeispiel derart konfiguriert, dass es das Teilsystem **1** (**141**) simuliert. Das Teilsystem-Programmmodul (**TS 2**) **142A** ist in diesem Ausführungsbeispiel derart konfiguriert, dass es das Teilsystem **2** (**142**) simuliert und das Teilsystem-Programmmodul (**TS N**) **143A** ist in diesem Ausführungsbeispiel so konfiguriert, dass es das Teilsystem **N** (**143**) simuliert. Das weitere Teilsystem-Programmmodul (**TS N +1**) **144A** ist derart konfiguriert, dass es die einzelnen Teilsystem- Programmmodule (hier **141A** bis **143A**) schaltet oder regelt. Hierbei kann vorgesehen sein, dass die Aktualisierungsfrequenz der Programmmodule **141A**, **142 A**, **143A** in Abhängigkeit von der Dynamik des jeweils zugeordneten Teilsystems **141**; **142**; **143** konfiguriert ist, und die einzelnen Programmmodule **141A**, **142 A**, **143A** jeweils eine oder mehrere der simulierten Zustandsgrößen berechnen und mit der jeweiligen Aktualisierungsfrequenz in dem Speicher **122** speichern.

[0037] Zeitgleich und/oder zeitlich versetzt wird zumindest ein Soll-Wert einer Regelungsgröße des chemischen Prozesses, wobei für eine chemische Anlage oftmals eine Vielzahl von Soll-Werten vorgegeben wird, an das Regelungsprogramm **129** übertragen. Zumindest eine Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen **124** kann zur Eingabe in das Regelungsprogramm **129** aus dem Speicher **122** gelesen werde. Durch Verarbeitung der aus dem Speicher **122** gelesenen simulierten Zustandsgrößen **124** wird daraufhin eine Stellgröße zur Erreichung des Soll-Wertes **113** durch das Regelungsprogramm **129** ermittelt. Es wird darauf hingewiesen, dass selbstverständlich auch mehrere Stellgrößen zur Erreichung mehrerer Soll-Werte **113** durch das Regelungsprogramm **129** ermittelt werden können, jedoch hier aus Darstellbarkeitsgründen nur eine Stellgröße dargestellt ist.

[0038] Die berechnete Stellgröße wird daraufhin an das Leitsystem **110** übertragen. Wie oben beschrieben, kann vorgesehen sein, dass das Leitsystem **110** einen Server **111** beinhaltet und das Computersystem **120** einen Client **121** beinhaltet. Für die Übertragung der berechneten Stellgröße an das Leitsystem **110** (s. Pfeil von **121** nach **111**) können der Server **111** und der Client **121** so konfiguriert sein, dass der Client **121** auf den Server **111** des Leitsystems **110** einen Schreibzugriff durchführen kann. Der Client **121** kann hierbei als Master und der Server **111** als Slave ausgebildet sein.

[0039] Weiterhin kann das Leitsystem **110** die berechnete Stellgröße über den Feldbus **100** an ein Stellglied **144** eines Teilsystems (hier beispielsweise dargestellt für Teilsystem **142**, wobei jedes Teilsystem ein oder mehrere Stellglieder aufweisen kann) übertragen, wobei das Stellglied **144** das Teilsystem entsprechend der berechneten Stellgröße einstellen kann.

[0040] Wie zudem in **Fig. 1** dargestellt, kann das Computersystem **120** ein Machine-Learning-Modul **130** beinhalten. Das Machine-Learning-Modul **130** kann ein supervised Machine-Learning-Modul sein. Zum Trainieren des Machine-Learning-Moduls **130** können Trainingsdatensätze **125** verwendet werden, die zumindest die Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen **124** und die daraus von dem Regelungsprogramm **129** berechneten Stellgrößen beinhalten. Hierbei können die Trainingsdatensätze **125** die in den Prozessdaten **123** beinhaltete Antwort der chemischen Anlage **140** auf die Stellgröße beinhalten.

[0041] Die Funktionsweise der chemischen Anlage mit dem System zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage durchgeführten chemischen Prozesses wird nachfolgend mittels des

in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens näher erläutert.

[0042] Zur besseren Nachvollziehbarkeit der **Fig. 2** wurde der Ablauf des Verfahrens in zwei Prozessblöcken (gestrichelter Prozessblock, gepunkteter Prozessblock) wiedergegeben. Die Teilung des Prozesses in zwei Prozessblöcke erfolgt (wie dargestellt) im Bereich des Austauschs von Daten zwischen dem Server des Leitsystems und dem Client des Computersystems. Beide Prozesse können sowohl asynchron als auch synchron zueinander betrieben werden.

[0043] In dem oberen Prozessblock (gestrichelter Block) werden in einem ersten Schritt **200** die Prozessdaten erfasst. Dies kann mittels in der chemischen Anlage angebrachten Sensoren erfolgen. Die Prozessdaten werden in einem nächsten Schritt **201** an das Leitsystem übertragen, wobei das Leitsystem einen Server aufweisen kann, und in einem weiteren Schritt erfolgt die Übertragung der Daten an den Computer **202**, wobei der Computer einen Client aufweisen kann. Der Pfeil von Schritt **202** zu Schritt **200** soll hierbei widerspiegeln, dass auch Daten von dem Computer zu den Teilsystemen der chemischen Anlage (wo die Prozessdaten generiert werden) zurückübertragen werden können und die Schritte **200,201,202** einen Prozess bilden, der wiederholend ausgeführt werden kann.

[0044] In dem unteren Prozessblock (gepunkteter Block) werden in Schritt **203** die Zustandsgrößen durch das Simulationsprogramm ermittelt. Daraufhin erfolgt in Schritt **204** die Ermittlung der Stellgröße aus den Zustandsgrößen, die an das Leitsystem übertragen wird (s. Schritt **205**). Das Leitsystem überträgt daraufhin die Stellgröße - ggf. nach Bestätigung durch den Nutzer - über den Leitstand und über den Feldbus an das Stellglied. Durch den Pfeil von Schritt **205** zu Schritt **203** wird dargestellt, dass die Schritte **203,204,205** einen Prozess bilden, der wiederholend ausgeführt werden kann. Die ermittelten Zustandsgrößen (Schritt **204**) werden, neben dem oben beschriebenen Schritt **205**, ebenfalls in die Trainingsdatensätze übertragen (s. Pfeil von Schritt **204** zu Schritt **207**) und werden daraufhin zum Trainieren des Machine-Learning-Moduls verwendet (Schritt **208**). In dem Schritt **209** wird ermittelt, ob das Training des Machine-Learning-Moduls ausreichend für eine Ermittlung der Stellgröße ist. Ist das Machine-Learning-Modul ausreichend trainiert, erfolgt die Ermittlung der Stellgröße durch das Machine-Learning-Modul (s. Schritt **211**), ansonsten durch das Regelungsprogramm (s. Schritt **210**).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage (140) durchgeführten chemischen Prozesses mit folgenden Schritten:

- sensorische Erfassung von Prozessdaten der chemischen Anlage (140),
- Übertragung der Prozessdaten an ein Leitsystem (110) über einen Feldbus (100),
- Übertragung zumindest einer Teilmenge der Prozessdaten von dem Leitsystem (110) an ein Computersystem (120), wobei das Computersystem (120) ein Simulationsprogramm (128) für eine stationäre und/oder dynamische Prozesssimulation des chemischen Prozesses, ein Regelungsprogramm (129) zur Implementierung eines Reglers für den chemischen Prozess und einen Speicher (122) zur Speicherung von simulierten Zustandsgrößen (124) aufweist,
- zyklisch wiederholte Berechnung der simulierten Zustandsgrößen des chemischen Prozesses durch das Simulationsprogramm (128) aus der Teilmenge der Prozessdaten (123) und Speicherung der simulierten Zustandsgrößen (124) in dem Speicher (122),
- Übertragung zumindest eines Soll-Wertes einer Regelungsgröße des chemischen Prozesses an das Regelungsprogramm (129),
- Lesen zumindest einer Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen (124) aus dem Speicher (122) zur Eingabe in das Regelungsprogramm (129),
- Ermittlung einer Stellgröße zur Erreichung des Soll-Wertes (113) durch das Regelungsprogramm (129) durch Verarbeitung der aus dem Speicher (122) gelesenen simulierten Zustandsgrößen (124),
- Übertragung der berechneten Stellgröße an das Leitsystem (110).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Leitsystem (110) einen Server (111) beinhaltet und das Computersystem (120) einen Client (121) beinhaltet, wobei der Server (111) und der Client (121) so konfiguriert sind, dass der Client (121) auf den Server (111) einen Lesezugriff durchführen kann, sodass die Teilmenge der Prozessdaten (1123) von dem Server (111) an den Client (121) übertragen wird und dass der Client (121) auf den Server (111) einen Schreibzugriff durchführen kann, um die berechnete Stellgröße an das Leitsystem (110) zu übertragen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Client (121) als Master und der Server (111) als Slave ausgebildet sind.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Leitsystem (110) über eine Computerschnittstelle zum Anschluss des Computersystems (120) verfügt, über die eine direkte Kommunikationsverbindung zwischen dem Leitsystem (110) und dem Computersystem aufgebaut wird und zumindest die Übertragung der Teilmenge der Prozessdaten(123) und

die Übertragung der Stellgröße über die direkte Kommunikationsverbindung erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Stellgröße von dem Leitsystem (110) über den Feldbus (100) an ein Stellglied (144) übertragen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Computersystem (100) ein Machine-Learning-Modul (130) beinhaltet, wobei zum Trainieren des Machine-Learning-Moduls (130) Trainingsdatensätze (125) verwendet werden, die zumindest die Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen (124) und die daraus von dem Regelungsprogramm (129) berechneten Stellgrößen beinhalten.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Trainingsdatensätze (125) die in den Prozessdaten (123) beinhaltete Antwort der chemischen Anlage (140) auf die Stellgröße beinhalten.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei nach Training des Machine-Learning-Moduls (130) von dem Regelungsprogramm (129) auf das Machine-Learning-Modul (130) umgeschaltet wird, so dass dieses durch das Machine-Learning-Modul (130) ersetzt wird, und sodass die Stellgröße aus den gelesenen Zustandsgrößen durch das Machine-Learning-Modul (130) ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei nach Training des Machine-Learning-Moduls (130) die Teilmenge der simulierten Zustandsgrößen (124) auch in das Machine-Learning-Modul (130) eingegeben wird, um eine machine-learning Stellgröße zu ermitteln und mit dem weiteren Schritt, dass die machine-learning Stellgröße und die durch das Regelungsprogramm (129) ermittelte Stellgröße miteinander kombiniert (131) werden, um eine resultierende Stellgröße zu ermitteln, wobei die resultierende Stellgröße an das Leitsystem (110) übertragen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei das Machine-Learning-Modul (130) mit weiteren Trainingsdatensätzen trainiert wird, die aus dem weiteren Betrieb der chemischen Anlage (140) durch die Regelung mittels des Machine-Learning-Moduls (130) erzeugt werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Simulationsprogramm (128) mehrere Programmmodule (141A, 142 A, 143A) aufweist, die jeweils zur Simulation eines Teilsystems (141; 142; 143) der chemischen Anlage (140) konfiguriert sind, wobei die Aktualisierungsfrequenz der Programmmodule (141A, 142 A, 143A) in Abhängigkeit von der Dynamik des jeweils zugeordneten Teilsystems (141; 142; 143) konfiguriert ist, und die einzelnen Programmmodule (141A, 142 A, 143A) jeweils

eine oder mehrere der simulierten Zustandsgrößen berechnen und mit der jeweiligen Aktualisierungsfrequenz in dem Speicher (122) speichern.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei durch jedes der Programmmodule (141A, 142 A, 143A) ein Verarbeitungsblock mit zumindest einem Eingang und einem Ausgang gebildet wird, und mit einem Verknüpfungsprogramm zur Verknüpfung der Verarbeitungsblocke.

13. System zur Regelung eines in einer großtechnischen chemischen Anlage durchgeführten chemischen Prozesses, wobei das System zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet ist.

14. Chemische Anlage (140) mit einem System nach Anspruch 13.

15. Chemische Anlage (140) nach Anspruch 14, wobei es sich um eine Anlage zur Herstellung von Schwefelsäure, Koks, Polymeren, Düngemitteln, Synthesegas, Zement, Harnstoff, Ammoniumnitrat oder zur Wasserentsalzung handelt.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

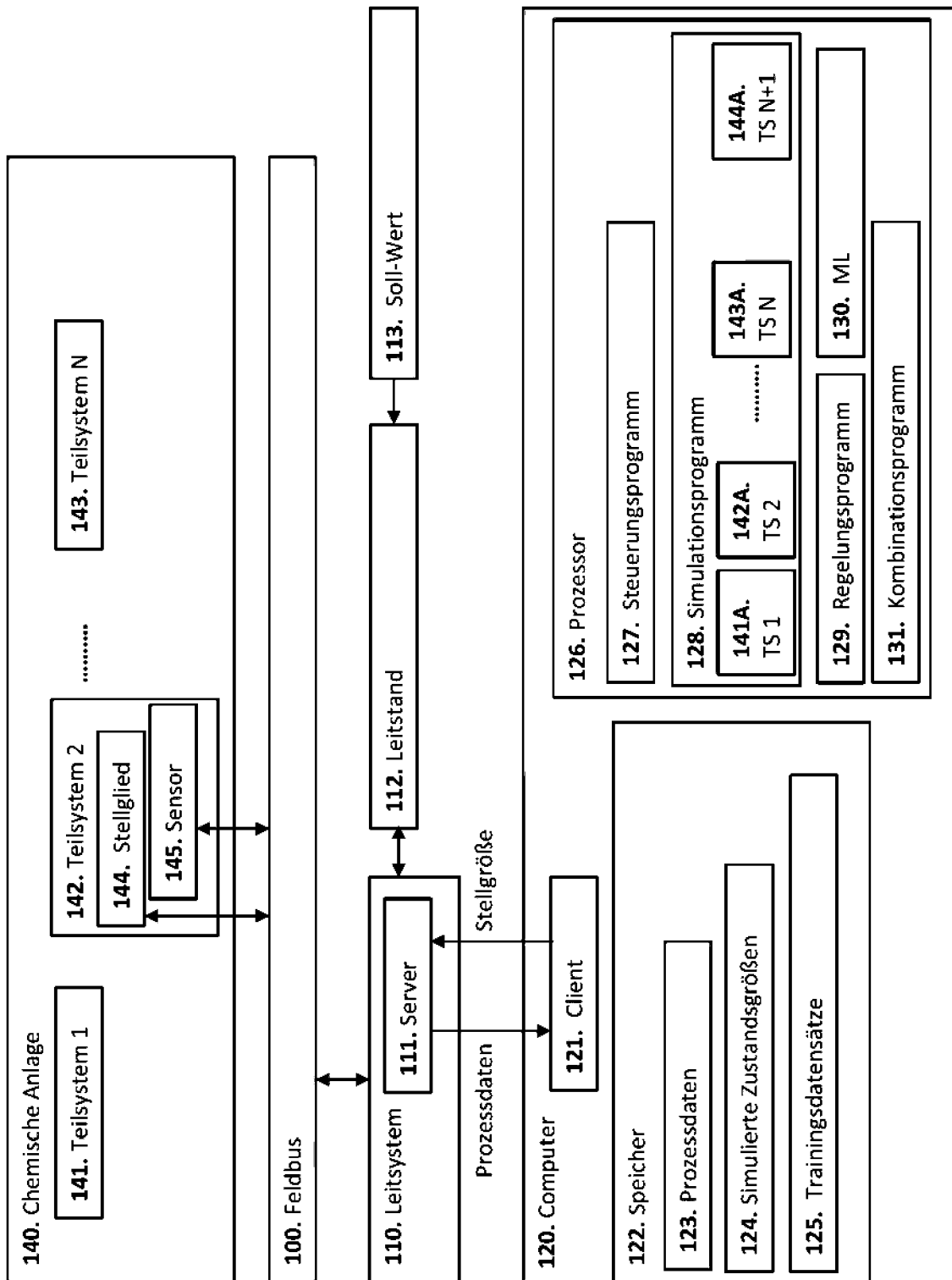


FIG. 1

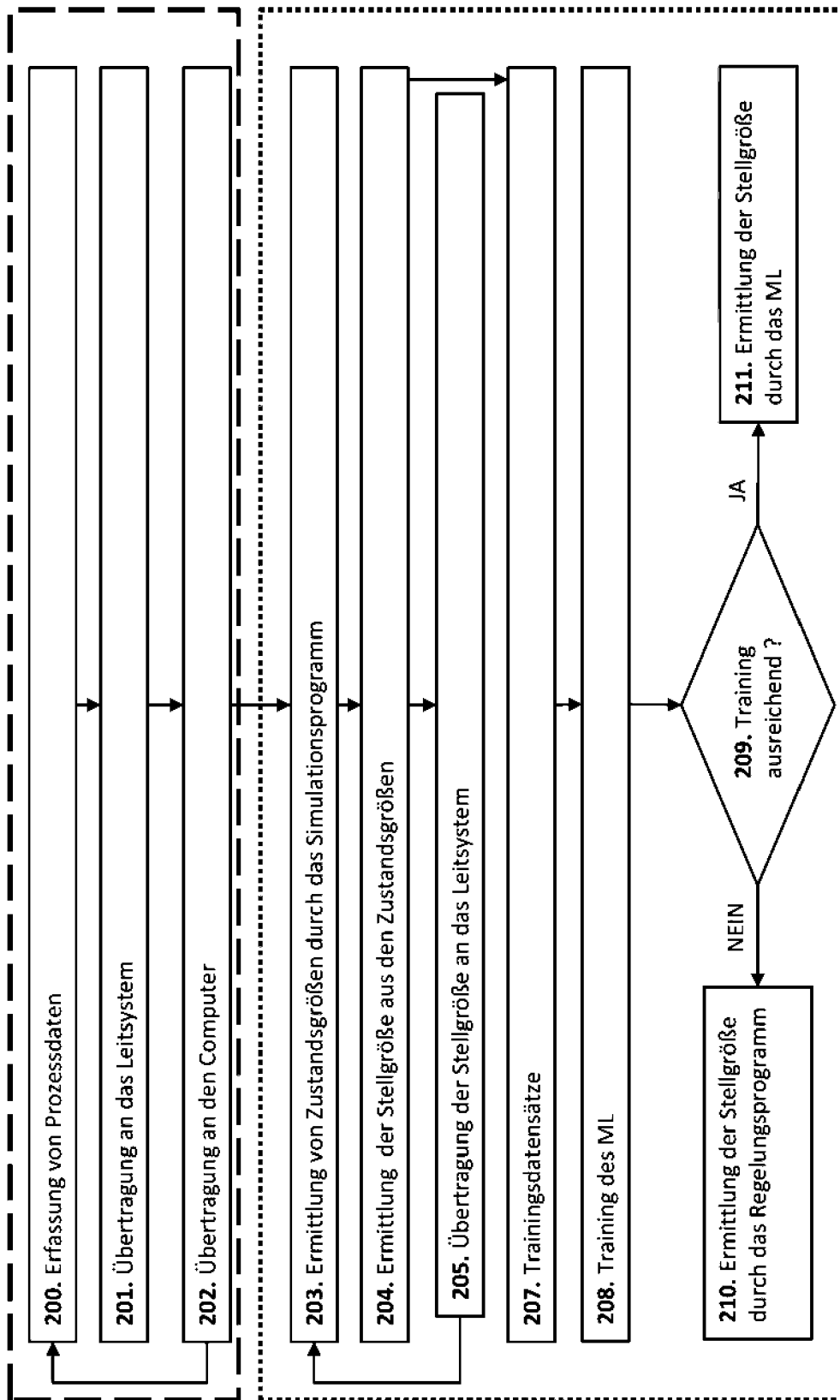


FIG. 2