(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2021 005 868 T5** 2023.08.24

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/130098**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 005 868.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB2021/061237**
(86) PCT-Anmeldetag: **02.12.2021**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **23.06.2022**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **24.08.2023**

(51) Int Cl.: ***G06F 30/00*** (2020.01)

(30) Unionspriorität:
17/123,088 **15.12.2020** **US**

(71) Anmelder:
International Business Machines Corporation, Armonk, NY, US

(74) Vertreter:
Richardt Patentanwälte PartG mbB, 65185 Wiesbaden, DE

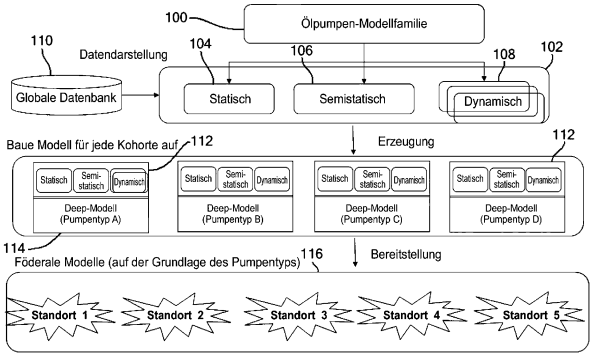
(72) Erfinder:
Zhou, Nianjun, Yorktown Heights, NY, US; Patel, Dhavalkumar, Yorktown Heights, NY, US; Bhamidipaty, Anuradha, Yorktown Heights, NY, US

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **FÖDERALES LERNEN FÜR EIN MULTI-LABEL-KLASSIFIZIERUNGSMODELL ZUR ÖLPUMPENVERWALTUNG**

(57) Zusammenfassung: Ein auf einem Computer umgesetztes Verfahren für föderales Lernen zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern weist Erzeugen eines lokalen Modells an einem lokalen Standort für jede der Kohorten und Trainieren des lokalen Modells an lokalen Daten für jede der Kohorten für jeden Ausfalltyp auf. Das lokale Modell wird für eine zentrale Datenbank freigegeben. Ein globales Modell wird auf der Grundlage einer Zusammenfassung einer Mehrzahl der lokalen Modelle von einer Mehrzahl der lokalen Standorte erstellt. An jedem der Mehrzahl lokaler Standorte wird eines von dem globalen Modell und dem lokalen Modell für jede der Kohorten gewählt. Das gewählte Modell arbeitet mit lokalen Daten, um einen Ausfall der Anlagegüter vorherzusagen. Die genutzten Merkmale weisen Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale und Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und der semistatischen Merkmale auf.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich allgemein auf künstliche Intelligenz und Systeme für maschinelles Lernen und insbesondere auf Verfahren und Systeme für verteiltes Lernen für Multi-Label-Klassifizierungsmodelle zur Instandsetzung und Instandhaltung von Industrieanlagen, beispielsweise zur vorbeugenden Verwaltung von Ölpumpen.

Hintergrund

[0002] Öl- und andere Unternehmen der Bergbauindustrie müssen ihre Anlagegüter instand halten. Auf dem Ölfeld müssen Unternehmen die Pumpenschächte in gutem Zustand halten, um eine hohe Ölerzeugung zu erzielen. Die derzeitige Tendenz geht dahin, einen vorbeugenden Instandhaltungsansatz zu verwenden, bei dem der Erfolg eines kostengünstigen vorbeugenden Instandhaltungsansatzes auf der Vorhersagegenauigkeit der Notwendigkeit für die Instandhaltung bestimmter Teile beruht.

[0003] Große Ölunternehmen verfügen über eine weltweite Präsenz in vielen unterschiedlichen geografischen Regionen, wo sie Öl pumpen. Jeder Standort ist offen für ein Freigeben des zusammengefassten Wissens, um über ein besseres Vorhersagemodell zu verfügen, doch die Standorte weisen eine Begrenzung beim Freigeben der detaillierten Daten von Betriebssensoren auf, beispielsweise aufgrund von Datenschutzerwägungen und die Verwaltung betreffenden Fragen.

[0004] Derzeitige allgemeine Vorhersagemodelle weisen wesentliche Einschränkungen auf. Zu diesen Einschränkungen gehören zum Beispiel das Fehlen einer Datenfreigage zwischen Standorten, das Fehlen von Fehlerbeispielen und Szenarios für einzelne geografische Standorte. Unterschiedliche Szenarios von Betriebszuständen können mit unterschiedlichen Modellen arbeiten, und Erstellen eines universellen Vorhersagemodells ist möglicherweise nicht für örtliche Bedingungen als bestimmter geografischer Standort geeignet.

[0005] Deshalb besteht ein Bedarf an einem Ansatz zum Entwickeln und Verbessern des Vorhersage-/Klassifizierungsmodells, das sowohl lokal als auch global verwaltet werden kann.

KU RZDARSTELLU NG

[0006] Gemäß verschiedenen bevorzugten Ausführungsformen werden eine Computereinheit, ein nichttransitorisches computerlesbares Speichermedium und ein Verfahren zum Entwickeln und Verbessern eines Vorhersagemodells für einen Ausfall von Anlagegütern bereitgestellt, wobei nur die Modelle zwischen mehreren Standorten freigegeben werden.

[0007] In einer Ausführungsform stellt die vorliegende Erfindung ein auf einem Computer umgesetztes Verfahren zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern bereit [und] weist dabei Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale und Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und der semistatischen Merkmale auf. Das Verfahren weist weiterhin Erzeugen eines lokalen Modells an einem lokalen Standort für jede der Kohorten und Trainieren des lokalen Modells an lokalen Daten für jede der Kohorten für jeden Ausfalltyp auf. Das lokale Modell wird für eine zentrale Datenbank freigegeben. Ein globales Modell wird auf der Grundlage einer Zusammenfassung einer Mehrzahl der lokalen Modelle von einer Mehrzahl der lokalen Standorte erstellt. An jedem der Mehrzahl lokaler Standorte wird von dem globalen Modell und dem lokalen Modell für jede der Kohorten eines ausgewählt. Das gewählte Modell arbeitet mit lokalen Daten, um den Ausfall von einem oder mehreren der zu dieser Kohorte gehörenden Anlagegüter vorherzusagen.

[0008] Vorzugsweise stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren bereit, das weiterhin Erzeugen eines Vorlagemodells zum Erstellen jedes der lokalen Modelle für jede der Kohorten aufweist.

[0009] Vorzugsweise stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren bereit, das weiterhin Zusammenlegen der lokalen Modelle von jedem der Mehrzahl lokaler Standorte in einen Pool lokaler Modelle und Ermitteln der Leistung des globalen Modells und eines ausgewählten der lokalen Modelle aus dem Pool lokaler Modelle aufweist.

[0010] Vorzugsweise stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren bereit, das weiterhin Aktualisieren des globalen Modells auf der Grundlage eines Mittelwerts jedes der lokalen Modelle im Pool lokaler Modelle für jede der Kohorten aufweist. In einigen bevorzugten Ausführungsformen wird jedes der lokalen Modelle in dem Pool lokaler Modelle auf der Grundlage einer mittleren Anzahl von Anlagegütern des lokalen Standorts gewichtet, der das lokale Modell für den Pool lokaler Modelle bereitgestellt hat.

[0011] Gemäß verschiedenen Ausführungsformen weist ein auf einem Computer umgesetztes Verfahren zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale und Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und der semistatischen Merkmale auf. Ein lokales Modell wird an einem lokalen Standort für jede

der Kohorten erzeugt, und das lokale Modell wird für eine zentrale Datenbank freigegeben. Ein Pool lokaler Modelle wird aus einer Mehrzahl der lokalen Modelle von einer repräsentativen Mehrzahl der lokalen Standorte erstellt. Ein globales Modell wird auf der Grundlage einer Zusammenfassung der Mehrzahl der lokalen Modelle aus der Mehrzahl der lokalen Standorte erstellt. An jedem der Mehrzahl lokaler Standorte wird eines der globalen Modelle und eines aus der Mehrzahl lokaler Modelle aus dem Pool lokaler Modelle für jede der Kohorten gewählt. Das gewählte Modell arbeitet mit lokalen Daten, um einen Ausfall der Anlagegüter vorherzusagen.

[0012] Gemäß verschiedenen Ausführungsformen weist ein auf einem Computer umgesetztes Verfahren zur Vorhersage eines Ausfalls von Anlagegütern Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale und Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und der semistatischen Merkmale auf. Ein lokales Modell wird an einem lokalen Standort für jede der Kohorten erzeugt, und ein globales Modell wird für jede der Kohorten erstellt. An jedem einer Mehrzahl lokaler Standorte wird eines von dem globalen Modell und dem lokalen Modell für jede der Kohorten gewählt. Das gewählte Modell arbeitet mit lokalen Daten, um den Ausfall der Anlagegüter vorherzusagen, welche zu der Kohorte gehören, in der das Modell entwickelt wird.

[0013] Mittels der hier erörterten Konzepte werden ein System und ein Verfahren bereitgestellt, das die derzeit zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern genutzten Ansätze verbessert. Das System und die Verfahren, die hier erörtert werden, können die Genauigkeit der Vorhersagemodelle für einen Ausfall von Anlagegütern verbessern, indem sie Daten zwischen verschiedenen Standorten freigeben, ohne Datenschutz und Sicherheit zu beeinträchtigen.

[0014] Diese und weitere Merkmale gehen aus der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung veranschaulichender Ausführungsformen davon hervor, die in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen zu lesen ist.

Figurenliste

[0015] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird nun lediglich als Beispiel unter Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen beschrieben.

Fig. 1 ist eine Darstellung einer Modellbereitstellung auf der Grundlage von Merkmalgruppierung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

Fig. 2 ist eine Darstellung einer Systemarchitektur einer Ausfallvorhersage-Routine für Anlagegüter nach einer Bereitstellung föderaler Modelle, welche Optimieren eines Modells und Aktualisieren eines Modells im Einklang mit einer veranschaulichenden Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 3 veranschaulicht ein Verfahren zur Auswahl eines lokalen Modells für eine Kohorte an einem lokalen Standort im Einklang mit einer veranschaulichenden Ausführungsform.

Fig. 4 veranschaulicht ein Verfahren zur Auswahl eines lokalen Modells ohne Freigeben lokaler Modelle von anderen Standorten im Einklang mit einer veranschaulichenden Ausführungsform.

Fig. 5 veranschaulicht eine Modellvorlage zur Multi-Label-Vorhersage einer künftigen Kohorte im Einklang mit einer veranschaulichenden Ausführungsform.

Fig. 6 veranschaulicht ein Architekturmodell für Abweichung und Optimierung an einem lokalen Standort im Einklang mit einer veranschaulichenden Ausführungsform.

Fig. 7 ist ein Ablaufplan, der Schritte im Zusammenhang mit einem Einrichten einer Ausfallvorhersage-Routine für Anlagegüter im Einklang mit einer veranschaulichenden Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 8 ist ein Ablaufplan, der Schritte im Zusammenhang mit einem Betreiben einer Ausfallvorhersage-Routine für Anlagegüter im Einklang mit einer veranschaulichenden Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 9 ist eine Darstellung eines Funktionsblockschemas einer Computerhardwareplattform, die zum Umsetzen der Ausfallvorhersage-Routine für Anlagegüter von **Fig. 2** genutzt werden kann.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0016] In der folgenden ausführlichen Beschreibung werden zahlreiche spezifische Einzelheiten als Beispiele dargelegt, um ein gründliches Verständnis der relevanten Lehren zu vermitteln. Es sollte jedoch selbstverständlich sein, dass die vorliegenden Lehren auch ohne diese Einzelheiten in die Praxis umgesetzt werden können. In anderen Fällen wurden allgemein bekannte Verfahren, Vorgehensweisen, Komponenten und/oder Schaltkreise auf einer vergleichsweise hohen Ebene nicht ausführlich beschrieben, um zu vermeiden, dass der Blick auf Aspekte der vorliegenden Lehren unnötig verstellt wird, die auch ohne diese Einzelheiten in die Praxis umgesetzt werden können. In anderen Fällen wurden allgemein bekannte Verfahren, Vorgehensweisen, Komponenten und/oder Schaltkreise auf einer

vergleichsweise hohen Ebene nicht ausführlich beschrieben, um zu vermeiden, dass der Blick auf Aspekte der vorliegenden Lehren unnötig verstellt wird.

[0017] Sofern nicht ausdrücklich anders angegeben und wie aus der folgenden Beschreibung und den Ansprüchen ersichtlich sein wird, sollte einsichtig sein, dass sich in den Darlegungen der Patentbeschreibung eine Verwendung von Begriffen wie „Verarbeiten“, „Berechnen“, „Kalkulieren“, „Bestimmen“ oder dergleichen auf die Aktion und/oder Prozesse eines Computers oder Computersystems oder einer ähnlichen elektronischen Computereinheit bezieht, welche als physikalische, beispielsweise elektronische, Größen dargestellte Daten in den Registern und/oder Speichern des Computersystems manipuliert und/oder in andere Daten umwandelt, die in ähnlicher Weise als physikalische Größen in den Speichern, Registern oder anderen derartigen Einheiten zur Datenspeicherung, -übertragung oder -anzeige des Computersystems dargestellt werden.

[0018] In der hier verwendeten Weise bezieht sich der Begriff „verteiltes Lernen“ auf ein Lernmodell, bei dem lokale Daten nicht freigegeben werden, nur Modelle (lokale und globale) werden zwischen verteilten Standorten freigegeben.

[0019] In der hier verwendeten Weise bezieht sich der Begriff „Multi-Learning-Klassifizierung“ auf ein Klassifizierungsproblem, bei dem jedem Fall mehrere Bezeichnungen, sogenannte „Labels“, zugewiesen werden können, wobei diese nicht sich gegenseitig ausschließend sind.

[0020] In der hier verwendeten Weise bezieht sich der Begriff „Kohorte“ nicht auf ein Gruppieren aller Anlagegüter als eine einzige Kategorie, sondern auf ein Aufschlüsseln der Anlagegüter in verschiedene Gruppen für eine bessere Analyse und Vorhersage.

[0021] In der hier verwendeten Weise bezieht sich der Begriff „globales Modell“ auf ein Modell für eine bestimmte Kohorte, wobei ein lokaler Standort das globale Modell entweder aufgrund des Fehlens eines lokalen Modells verwenden darf oder deshalb, weil das lokale Modell nicht so gut wie das globale Modell ist.

[0022] In der hier verwendeten Weise bezieht sich der Begriff „lokales Modell“ auf das an einem lokalen Standort verwendete Modell.

[0023] In der hier verwendeten Weise bezieht sich der Begriff „Modellaggregator“ auf ein aktualisiertes globales Modell auf der Grundlage des Kollektivs der lokalen Modelle und deren Verwendung.

[0024] In der hier verwendeten Weise bezieht sich der Begriff „Modellauswahl an einem lokalen Standort“ auf einen Algorithmus, der zum Auswählen eines an dem lokalen Standort zu verwendenden lokalen Modells verwendet wird, wobei der Pool der in Frage kommenden Modelle entweder aus dem globalen Modell für eine Kohorte und/oder lokalen Modellen von anderen Standorten stammt.

[0025] Wie nachfolgend ausführlicher erörtert werden wird, bezieht sich die vorliegende Offenbarung allgemein auf Verfahren und Systeme zur Verwaltung industrieller Anlagegüter, beispielswiese die Verwaltung von Ölpumpen, durch verteiltes Lernen. Die Verfahren und Systeme verwenden einen zentralen Ansatz zum Speichern eines Kohortenmodells und Vorhersagemodells und zum Versenden der zentralen Modelle an lokale Standorte als Ausgangspunkt für den lokalen Standort. Die Verfahren und Systeme können einen verteilten Ansatz zum Verfeinern und Verbessern der Leistung eines Vorhersagemodells an einem lokalen Standort verwenden, woraus sich eine lokale Verfeinerung durch Beibehalten des Modells mit derselben Modellstruktur und den anfänglichen Merkmalen ergibt. Eine zentrale Verwaltung des Kohortenmodells kann helfen sicherzustellen, dass Lernen von jedem Standort auf eine gemeinsame oder ähnliche Szenariogruppe ausgerichtet wird. Die Systeme und Verfahren der vorliegenden Offenbarung können eine bedeutende Verbesserung bei Verwaltungsmodellen zur Vorhersage eines Ausfalls von Anlagegütern bereitstellen, indem Modelle über mehrere Standorte hinweg in dem Bemühen freigegeben werden, von einem Standort gelernte Informationen an anderen Standorten zu verwenden, ohne die spezifischen Einzelheiten eines bestimmten Ausfalls eines Anlagegutes freigeben zu müssen.

[0026] Wie nachfolgend ausführlicher erörtert werden wird, stellt die vorliegende Offenbarung außerdem Systeme und Verfahren bereit, die eine Abweichungsanalyse eines Modells durchführen können, um zu entscheiden, wann das lokale Modell aktualisiert und Verfeinerungen des Modells erzeugt werden sollten. Die Systeme und Verfahren können ein Vorhersagemodell anwenden, darunter, ohne auf diese beschränkt zu sein, eine traditionelle und eine Deep-Learning-Modellarchitektur für ein Vorhersage- oder Klassifizierungsmodell mit einer ausreichenden Modellkomplexität, um eine Modellintegration von den verschiedenen Standorten zu ermöglichen und einen Genauigkeitsverlust für andere Standorte nach der Integration eines globalen Modells zu vermeiden.

[0027] Es gibt drei Haupttypen von Ölpumpen - eine Tauchpumpe oder elektrische Tauchpumpe (electric submersible pump, ESP), eine Exzenterschneckenpumpe (progressing cavity pump, PCP) und eine

Gestängetiefpumpe (reciprocating rod lift, RRL). Jede dieser Pumpen kann eine bestimmte Kohorte vertreten. Die zur selben Kohorte gehörenden Maschinentypen weisen gemeinsame, ähnliche Strukturen und Funktionalitäten auf. Es gibt drei Hauptarten von Komponentenausfällen, darunter einen Pumpenausfall, einen Gestängeausfall und einen Rohrleitungsausfall. Diese Ausfallarten können als die Bezeichnungen („Labels“) definiert werden. Die vorliegende Offenbarung definiert Kohorten zwar als unterschiedliche Pumpen in der Ölindustrie, es sollte jedoch verständlich sein, dass je nach gewünschter Anwendung und Branche andere Anlagegüter als Kohorten definiert werden können.

[0028] Nachstehend wird nun ausführlich auf die veranschaulichten Einzelheiten in den beiliegenden Zeichnungen Bezug genommen und diese werden ausführlich erörtert.

[0029] Bezugnehmend auf **Fig. 1** können Einzelheiten jeder Ölpumpen-Modellfamilie 100 verwendet werden, um eine Gruppe von Merkmalen 102 für diese Modellfamilie 100 bereitzustellen. Die Gruppe von Merkmalen 102 kann statische Merkmale 104, semistatische Merkmale 106 und dynamische Merkmale 108 aufweisen. Eine globale Datenbank 110 kann gepflegt werden, die Daten bezüglich jedes Anlagegutes (z.B. jeder Pumpenfamilie) und der Merkmale jedes Anlagegutes aufweist. Statische Merkmale 104 können Informationen aufweisen, die sich üblicherweise für ein Anlagegut nicht ändern, beispielsweise Anschaffungsjahr, Modellnummer, Marke, geografischer Standort des Anlagegutes und dergleichen. Semistatische Merkmale 106 können Informationen aufweisen, die sich langsam ändern, beispielsweise Tage seit der Anschaffung, die Tage seit der letzten Wartung, die Anzahl der geplanten Wartungen seit Anschaffung, die mittleren Tage von Reparaturintervallen und dergleichen. Wie weiter unten erörtert werden wird, kann eine bestimmte Datentransformation notwendig sein, um die statischen und semistatischen Daten in nutzbare Merkmale umzuwandeln. Dynamische Merkmale 108 weisen Informationen von Überwachungssensoren auf. Dynamische Merkmale 108 liefern üblicherweise ein Ausfallsignal in einem kurzen Zeithorizont. Um diese Daten in nutzbare Merkmale umzuwandeln, könnte eine bestimmte Datenaggregation und -transformation verwendet werden, beispielsweise ein Stunden-/Tagesmittel, exponentielle Glättung, Ausreißererkennung, fehlende Werte für eine vorhergehende Woche oder dergleichen.

[0030] Die Anlagegüter können in eine oder mehrere Kohorten 112 aufgeteilt werden. In dem Beispiel von **Fig. 1** beruhen die Kohorten auf dem Pumpentyp (Pumpentyp A, Pumpentyp B, Pumpentyp C und Pumpentyp D), doch je nach Anlagegut, das von Interesse ist, können Kohorten auf der Grundlage jedes gegebenen Anlagegutes oder einer Unterteilung von Anlagegütern festgelegt werden. Ein Windpark kann beispielsweise Kohorten in unterschiedliche Energieerzeugungskomponenten wie Lager, Wechselrichter, Speichereinheiten oder dergleichen unterteilen. In einigen Ausführungsformen können die Kohorten 112 durch Analysieren der statischen und semistatischen Merkmale der Anlagegüter erstellt werden, wobei eine gegebene Kohorte ähnliche statische und/oder semistatische Merkmale für ein gegebenes Anlagegut aufweisen kann.

[0031] Wie in **Fig. 1** dargestellt, können die Kohorten 112 die statischen Merkmale 104, semistatischen Merkmale 106 und dynamischen Merkmale 108 für dieses bestimmte Anlagegut aufweisen. Ein Ausfallvorhersagemodell 114 (auch als globales Modell 114 bezeichnet) kann für jede Kohorte aufgebaut werden. Das globale Modell 114 kann auf einem zuvor festgelegten lokalen Modell für ein gegebenes Anlagegut oder eine gegebene Kohorte beruhen oder kann auf einem Modell beruhen, das auf einem Anlagegut beruht. Das globale Modell 114 kann üblicherweise eine Deep-Learning-Modellstruktur mit einer festen Architektur auf der Grundlage der statischen, semistatischen und dynamischen Merkmale des Anlagegutes aufweisen. Die auf den Kohorten 112 beruhenden globalen Modelle 114 können für jeden der Mehrzahl lokaler Standorte 116 bereitgestellt werden.

[0032] Nunmehr bezugnehmend auf **Fig. 2** kann jeder Bereitstellungsstandort 200 (auch als jeder lokale Standort 200 bezeichnet) ein lokales Modell 202 aus einer Modell-Datenablage 204 auswählen. Die Modell-Datenablage 204 kann ein globales Modell für jede Kohorte aufweisen. Wie weiter unten ausführlicher erörtert werden wird, kann die Modell-Datenablage in einigen Ausführungsformen sowohl ein globales Modell als auch mindestens ein lokales Modell für jede Kohorte aufweisen. Ein Konsolidator/Aggregator 206 kann bereitgestellt werden, um Modelle mit Kohorten abzugleichen und die Gesamtzahl der Modelle zu begrenzen, indem ähnliche oder identische lokale Modelle entfernt werden.

[0033] Die lokale Abweichungsanalyse 208 kann an jedem Bereitstellungsstandort 200 durchgeführt werden, wo das ausgewählte lokale Modell 202 auf die Leistungsfähigkeit des Modells überwacht werden kann. Unstimmigkeiten zwischen den Modellvorhersagen und der tatsächlichen Leistung eines Anlagegutes können zum Berichten eines Abweichungsberichts 210 für die föderale Analyse 212 führen. Diese Analyse wird als „föderale Analyse“ bezeichnet, da Abweichungsberichte 210 von verschiedenen lokalen Standorten 200 zusammen analysiert werden können. Je nach Abweichungsdaten kann das System 250 eine Kohortenaktualisierung 214 oder eine Modellaktualisierung 216 bereitstellen, die an die

Modell-Datenablage 204 gesendet werden kann. Außerdem kann jeder lokale Standort 200 eine lokale Modelloptimierung 216 bereitstellen. Einzelheiten der Modelloptimierung 216 können für die föderale Analyse 212 bereitgestellt werden und die Modellaktualisierungen 216 für ein aktualisiertes lokales Modell für die Modell-Datenablage 204.

[0034] Bezugnehmend auf **Fig. 3** wird eine bildliche Darstellung einer Auswahl eines lokalen Modells für eine gegebene Kohorte an einem lokalen Standort beschrieben. Der lokale Standort 300 kann ein oder mehrere lokale Modelle 302 und ein globales Modell 304 für die gegebene Kohorte empfangen. Wenn für eine gegebene Kohorte keine Modelle (entweder als globales Modell oder als lokale Modelle) verfügbar sind (beispielsweise, wenn eine neue Kohorte an einem lokalen Standort festgelegt wird), dann wird ein neues lokales Modell an dem lokalen Standort erzeugt. Dieses neue lokale Modell kann zum Beispiel auf einem Modell für ein ähnliches Anlagegut an diesem Standort oder einem anderen lokalen Standort beruhen.

[0035] Zum Vergleich und zur Verfeinerung können zwei Modelle ausgewählt werden. Eines der ausgewählten Modelle kann das globale Modell für die gegebene Kohorte sein, und das andere Modell kann ein lokales Modell aus dem Pool lokaler Modelle sein. Zum Auswählen eines lokalen Modells aus dem Pool lokaler Modelle können verschiedene Kriterien verwendet werden, beispielsweise die Ähnlichkeit des Standorts, der das lokale Modell für den lokalen Standort 300 bereitstellt, die Nähe des Standorts, der das lokale Modell für den lokalen Standort 300 bereitstellt, die Leistungsmaßzahl des lokalen Modells oder dergleichen. In einigen Ausführungsformen kann das lokale Modell von einem lokalen Modell am lokalen Standort 300 selbst ausgewählt werden. Auf die beiden ausgewählten Modelle können Daten angewendet und die Leistungsfähigkeit kann analysiert werden. Das Modell mit der besten Leistung kann als das neue lokale Modell 306 für die gegebene Kohorte an dem lokalen Standort 300 ausgewählt werden. Wenn es eine Leistungsabweichung zwischen den beiden Modellen gibt, kann eine Optimierung durchgeführt werden, um das neue lokale Modell zu erzeugen, und dieses neue lokale Modell kann für die globale Modell-Datenablage 204 (siehe **Fig. 2**) freigegeben werden.

[0036] Bezugnehmend auf **Fig. 4** können in einigen Ausführungsformen die lokalen Modelle aufgrund von Standortverwaltungs- oder Datenschutzanforderungen nicht freigegeben werden. In dieser Ausführungsform kann ein globales Modell 402 einem lokalen Standort 400 für eine gegebene Kohorte bereitgestellt werden. Wieder können zwei Modelle ausgewählt werden, wobei es sich bei dem einen Modell um das globale Modell 204 und bei dem anderen um die aktuelle Version des lokalen Modells handelt, das an dem lokalen Standort 400 erzeugt wurde. Wenn es an dem lokalen Standort 400 aktuell kein lokales Modell gibt, kann der lokale Standort 400 ein lokales Modell in einer ähnlichen Weise erstellen wie der weiter oben mit Bezug auf **Fig. 3** erörterten. Die Modelle können, wie weiter oben beschrieben, verglichen und verfeinert werden, um ein aktualisiertes lokales Modell 404 zu erzeugen. Wenn das globale Modell 402 aktualisiert wird, zum Beispiel in der weiter unten beschriebenen Weise, kann die Auswahl des lokalen Modells, wie in **Fig. 4** dargestellt, wiederholt werden, um das aktualisierte lokale Modell 404 auf der Grundlage des verfeinerten globalen Modells zu erzeugen.

[0037] Bezugnehmend auf **Fig. 5** kann eine abstrakte Modellvorlage 500 für alle Kohorten definiert werden. Diese abstrakte Modellvorlage 500 kann beispielsweise zur Modellerzeugung für neue Kohorten, zum Erzeugen ursprünglicher globaler Modelle oder dergleichen verwendet werden. Die Vorlage 500 kann die statischen Merkmale 104 und die semistatischen Merkmale 106 in ein mehrschichtiges neuronales Perzeptron-Netzwerk 502 eingeben. Die Vorlage 500 kann weiterhin die dynamischen Merkmale 108 in ein neuronales LSTM-Netzwerk (für englisch „long short-term memory“, „langes Kurzzeitgedächtnis“) 504 eingeben. Die Ausgabe von beiden Netzwerken 502, 504 kann ein Aggregationsmodell 506 für eine Mehrfach-Label-Vorhersage bereitstellen. Die Ausgabe der Vorlage 500 kann eine Ausgabe mit mehreren Labels sein, wobei die Vorlage 500 für eine Mehrfach-Label-Vorhersage aller künftigen Kohorten verwendet werden kann.

[0038] Nunmehr bezugnehmend auf **Fig. 6** wird ein Modell 600 zum Optimieren und für Modellabweichungen bereitgestellt. Ein lokaler Modellspeicher 602 kann Informationen mindestens über das aktuelle lokale Modell am lokalen Standort enthalten. Der lokale Modellspeicher 602 kann auch Informationen über andere lokale Modelle an anderen Standorten für eine gegebene Kohorte enthalten. Der lokale Datenspeicher 604 kann als Hilfe beim Identifizieren von Kohorten 606 oder Erstellen neuer Kohorten 608 verwendet werden. Wie weiter oben erörtert, können zwei Modelle mit Daten aus dem lokalen Datenspeicher 604 betrieben werden, um eine Abweichungsanalyse 610 zu erzeugen. Eine Modelloptimierung und/oder -aktualisierung 612 kann auf der Grundlage der Abweichungsanalyse 610 durchgeführt werden, und die Aktualisierungen können einem Master-Modellspeicher 614 bereitgestellt werden.

[0039] Zusätzlich zu Aktualisierungen lokaler Modelle kann das System Aktualisierungen eines globalen Modells auf der Grundlage eines oder mehrerer Bewertungsverfahren bereitstellen. Ein Verfah-

ren kann beispielsweise Bewerten der Gewichte jedes lokalen Modells für eine gegebene Kohorte durch deren Mittelung (beispielsweise mit einem gewichteten Mittelwert auf der Grundlage der Anzahl der Anlagegüter an jedem lokalen Standort) aufweisen, um ein aktualisiertes globales Modell zu erzeugen. In einigen Ausführungsformen kann das globale Modell durch alleiniges Zugreifen auf die Gewichte der letzten Schicht jedes Modells und deren Mittelung aktualisiert werden, um das globale Modell zu erzeugen. In dieser Ausführungsform wären die Gewichte der niedrigeren Schichten für jedes lokale Modell gleich. In anderen Ausführungsformen kann das globale Modell unter Verwendung eines Ensemble-Ansatzes aktualisiert werden, um ein neues globales Modell auf der Grundlage jedes individuellen lokalen Modells für eine bestimmte Kohorte zu erstellen. Das globale Modell kann regelmäßig oder dann aktualisiert werden, wenn neue oder aktualisierte lokale Modelle von einem oder mehreren lokalen Standorten bereitgestellt werden.

[0040] Mit der vorstehenden Übersicht des beispielhaften Systems 250 (siehe **Fig. 2**) kann es nun hilfreich sein, eine detaillierte Erörterung beispielhafter Prozesse in Betracht zu ziehen. Zu diesem Zweck stellt **Fig. 7** im Zusammenhang mit dem Erstellen des Systems 250 einen veranschaulichenden Prozess 700 dar, der ein Erzeugen eines lokalen und globalen Modells umfasst. **Fig. 8** stellt einen veranschaulichenden Prozess 800 im Zusammenhang mit einer Auswahl eines lokalen Standorts eines lokalen Modells dar. Die Prozesse 700, 800 sind als Sammlung von Blöcken in einem logischen Flussdiagramm veranschaulicht, das eine Abfolge von Operationen darstellt, die als Hardware, Software oder als Kombination davon umgesetzt werden können. Im Zusammenhang mit Software stellen die Blöcke durch einen Computer ausführbare Anweisungen dar, die, wenn sie von einem oder mehreren Prozessoren ausgeführt werden, die angegebenen Operationen ausführen. Allgemein können durch einen Computer ausführbare Anweisungen Routinen, Programme, Objekte, Komponenten, Datenstrukturen und dergleichen umfassen, die bestimmte Funktionen ausführen oder abstrakte Datentypen umsetzen. In jedem Prozess ist die Reihenfolge, in der die Operationen beschrieben werden, nicht so zu verstehen, dass sie als Einschränkung auszulegen wäre, und zum Umsetzen des Prozesses kann eine beliebige Anzahl der beschriebenen Blöcke in beliebiger Reihenfolge kombiniert und/oder parallel ausgeführt werden.

[0041] Bezugnehmend auf **Fig. 7** weist der Prozess 700 zum Erstellen eines Systems zur Ausfallvorhersage eines Anlagegutes einen Schritt 710 des Aufteilens von Merkmalen der Anlagegüter in statische, semistatische und dynamische Merkmale auf, die mit der Verarbeitung der Merkmale der Anlagegutdynamik in unterschiedlichen Zeitskalen zusammenhängen. Ein Schritt 720 kann ein Vorlagemodell erzeugen, um die gemeinsame Modellstruktur sicherzustellen. Die weiter oben erörterte **Fig. 5** stellt ein Beispiel eines Erzeugens eines Vorlagemodells bereit. Ein Schritt 730 kann Bilden von Kohorten auf der Grundlage der statischen und semistatischen Merkmale aufweisen, um ähnliche Anlagegüter zu gruppieren und ein kohortenspezifisches Modell zu ermöglichen. In einigen Ausführungsformen kann das System die Kohorten automatisch auf der Grundlage der statischen und semistatischen Merkmale erzeugen. Ein Schritt 740 kann Trainieren des lokalen Modells mit lokalem Wissen für jede Kohorte auf der Grundlage der verschiedenen Ausfallarten für das Anlagegut aufweisen. Ein Schritt 750 kann Freigeben des lokalen Wissens für eine zentrale Datenbank und Erstellen eines globalen Modells aufweisen, welches das lokale Wissen zu einem globalen Wissen für jede Kohorte konsolidiert oder zusammenfasst. In Schritt 760 kann die zentrale Datenbank die Kohortendefinitionen, das globale Modell und die lokalen Modelle an jeden lokalen Standort verteilen.

[0042] Bezugnehmend auf **Fig. 8** kann der Prozess 800 einen Schritt 810 aufweisen, bei dem ein lokaler Standort ein lokales Modell aus einem Pool lokaler Modelle auswählen kann. In Schritt 820 kann der lokale Standort auch das globale Modell auswählen. In Schritt 830 kann der lokale Standort das beste Modell auf der Grundlage der Leistungsfähigkeit der zwei ausgewählten Modelle als das neue Modell auswählen. In Schritt 840 kann der lokale Standort eine Leistungs- und Abweichungsanalyse des besten Modells ausführen. In Schritt 840 kann der lokale Standort das ausgewählte Modell optimieren und Daten an die zentrale Datenbank zurücksenden.

[0043] **Fig. 9** stellt eine Darstellung eines Funktionsblockschemas einer Computerhardwareplattform 900 bereit, die zum Umsetzen einer auf bestimmte Weise konfigurierten Computereinheit genutzt werden kann, die als Host einer Ausfallvorhersage-Routine für Anlagegüter 950 fungieren kann. Die weiter oben erörterte Ausfallvorhersage-Routine für Anlagegüter 950 kann ein Kohortenerzeugungsmodul 952, eine Datenbank des globalen Modells 954, einen Pool lokaler Modelle 956 und ein Modelloptimierungsmodul 958 enthalten.

[0044] Die Computerplattform 900 kann eine Zentraleinheit (CPU) 910, ein Festplattenlaufwerk (HDD) 920, einen Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM) und/oder einen Nur-Lese-Speicher (ROM) 930, eine Tastatur 950, eine Maus 960, eine Anzeige 970 und eine Datenübertragungsschnittstelle 980 aufweisen, die mit einem Systembus 940 verbunden sind.

[0045] In einer Ausführungsform weist das HDD 920 Fähigkeiten auf, zu denen Speichern eines Pro-

gramms gehört, das verschiedene Prozesse, beispielsweise die Ausfallvorhersage-Routine für Anlagegüter 950, in einer hier beschriebenen Weise ausführen kann.

[0046] Die obige Erörterung beschreibt die Verwaltungsverfahren zur Ausfallvorhersage von Anlagegütern zwar, indem Modelle zwischen verschiedenen Standorten freigegeben werden, ein ähnliches System kann jedoch auch innerhalb eines einzelnen Standorts eingesetzt werden, wobei mehrere Nutzungsweisen desselben Anlagegutes (eine Kohorte) an standortweit an einem einzelnen Standort verwirklicht werden können. In dieser Ausführungsform kann Freigeben von Modellen ohne Freigeben von Daten vorteilhaft sein, um Ausfallvorhersagemodelle innerhalb eines einzelnen Standorts zu entwickeln und zu verbessern.

[0047] Die Beschreibungen der verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Lehren wurden zur Veranschaulichung vorgelegt, sie sind jedoch nicht als erschöpfend oder auf die offenbarten Ausführungsformen beschränkt zu verstehen. Viele Änderungen und Varianten werden für den Fachmann ersichtlich sein, ohne dass diese vom Geltungsbereich der beschriebenen Ausführungsformen abweichen. Die hier verwendete Begrifflichkeit wurde so gewählt, dass sie die Grundsätze der Ausführungsformen, die praktische Anwendung oder die technische Verbesserung gegenüber auf dem Markt zu findenden Technologien bestmöglich erklärt bzw. dass sie den Fachmann in die Lage versetzt, die hier offenbarten Ausführungsformen zu verstehen.

[0048] Im Vorstehenden wurde zwar beschrieben, was als bestmöglicher Stand und/oder weitere Beispiele betrachtet wird, es versteht sich jedoch, dass daran verschiedene Veränderungen vorgenommen werden können und dass der hier offenbarte Gegenstand in verschiedenen Formen und Beispielen umgesetzt werden kann und dass die Lehren in zahlreichen Anwendungen angewendet werden können, von denen nur einige hier beschrieben wurden. Die folgenden Ansprüche sollen jegliche und alle Anwendungen, Änderungen und Varianten beanspruchen, die in den Geltungsbereich der vorliegenden Lehren fallen.

[0049] Die Komponenten, Schritte, Merkmale, Aufgaben, Vorzüge und Vorteile, die hier erörtert wurden, dienen lediglich der Veranschaulichung. Keine von ihnen noch die mit ihnen zusammenhängenden Erörterungen sollen den Schutzbereich einschränken. Hier wurden zwar verschiedene Vorteile erörtert, es versteht sich jedoch, dass nicht alle Ausführungsformen notwendigerweise alle Vorteile aufweisen. Sofern nicht anders angegeben, sind alle Messungen, Werte, Bewertungen, Positionen, Ausmaße, Größen und sonstigen Angaben, die in dieser Patentbeschreibung, einschließlich der folgenden Ansprüche, dargelegt werden, näherungsweise, nicht genau. Sie sollen einen angemessenen Bereich aufweisen, der mit den Funktionen, auf die sie sich beziehen, und mit dem, was in ihrem zugehörigen Fachgebiet üblich ist, in Einklang steht.

[0050] Zahlreiche weitere Ausführungsformen kommen ebenfalls in Betracht. Zu ihnen gehören Ausführungsformen, die weniger, zusätzliche und/oder unterschiedliche Komponenten, Schritte, Merkmale, Aufgaben, Vorzüge und Vorteile aufweisen. Hierzu gehören auch Ausführungsformen, bei denen die Komponenten und/oder Schritte anders angeordnet und/oder geordnet sind.

[0051] Aspekte der vorliegenden Offenbarung sind hierin unter Bezugnahme auf einen Ablaufplan und/oder ein Blockschaltbild bzw. ein Schaubild eines Verfahrens, von Vorrichtungen (Systemen) und Computerprogrammprodukten gemäß Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass jeder Block der Ablaufpläne und/oder der Blockschaltbilder bzw. Schaubilder sowie Kombinationen von Blöcken in den Ablaufplänen und/oder den Blockschaltbildern bzw. Schaubildern mittels durch einen Computer lesbare Programmanweisungen ausgeführt werden können.

[0052] Diese durch einen Computer lesbaren Programmanweisungen können einem Prozessor eines in geeigneter Weise konfigurierten Computers, eines Spezialcomputers oder einer anderen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung bereitgestellt werden, um eine Maschine zu erzeugen, so dass die über den Prozessor des Computers bzw. der anderen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführten Anweisungen ein Mittel zur Umsetzung der in dem Block bzw. den Blöcken der Ablaufpläne und/oder der Blockschaltbilder bzw. Schaubilder festgelegten Funktionen/Schritte erzeugen. Diese durch einen Computer lesbaren Programmanweisungen können auch auf einem durch einen Computer lesbaren Speichermedium gespeichert sein, das einen Computer, eine programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung und/oder andere Einheiten so steuern kann, dass sie auf eine Art funktionieren, so dass das durch einen Computer lesbare Speichermedium, auf dem Anweisungen gespeichert sind, ein Herstellungsprodukt aufweist, darunter Anweisungen, welche Aspekte der/des in dem Block bzw. den Blöcken des Ablaufplans und/oder der Blockschaltbilder bzw. Schaubilder festgelegten Funktion/Schritts umsetzen.

[0053] Die durch einen Computer lesbaren Programmanweisungen können auch auf einen Computer, eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung oder eine andere Einheit geladen werden, um das Ausführen einer Reihe von Prozess-

schritten auf dem Computer bzw. der anderen programmierbaren Vorrichtung oder anderen Einheit zu verursachen, um einen auf einem Computer ausgeführten Prozess zu erzeugen, so dass die auf dem Computer, einer anderen programmierbaren Vorrichtung oder einer anderen Einheit ausgeführten Anweisungen die in dem Block bzw. den Blöcken der Ablaufpläne und/oder der Blockschaltbilder bzw. Schaubilder festgelegten Funktionen/Schritte umsetzen.

[0054] Die Anrufverläufe, die Ablaufpläne und die Blockschaltbilder bzw. Schaubilder in den Figuren veranschaulichen die Architektur, die Funktionalität und den Betrieb möglicher Ausführungen von Systemen, Verfahren und Computerprogrammprodukten gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. In diesem Zusammenhang kann jeder Block in den Ablaufplänen oder Blockschaltbildern bzw. Schaubildern ein Modul, ein Segment oder einen Teil von Anweisungen darstellen, die eine oder mehrere ausführbare Anweisungen zur Ausführung der festgelegten logischen Funktion (en) aufweisen. In einigen alternativen Ausführungen können die in dem Block angegebenen Funktionen in einer anderen Reihenfolge als in den Figuren gezeigt stattfinden. Zwei nacheinander gezeigte Blöcke können zum Beispiel in Wirklichkeit im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden, oder die Blöcke können manchmal je nach entsprechender Funktionalität in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden. Es ist ferner anzumerken, dass jeder Block der Blockschaltbilder bzw. Schaubilder und/oder der Ablaufpläne sowie Kombinationen aus Blöcken in den Blockschaltbildern bzw. Schaubildern und/oder den Ablaufplänen durch spezielle auf Hardware beruhende Systeme umgesetzt werden können, welche die festgelegten Funktionen oder Schritte durchführen oder Kombinationen aus Spezial-Hardware und Computeranweisungen ausführen.

[0055] Das Vorstehende wurde zwar in Verbindung mit beispielhaften Ausführungsformen beschrieben, es versteht sich jedoch, dass der Begriff „beispielhaft“ nicht das beste oder optimale Beispiel, sondern vielmehr nur ein Beispiel bezeichnet. Mit Ausnahme der unmittelbar vorstehenden Ausführungen ist nichts, was ausgeführt oder veranschaulicht wurde, dazu bestimmt oder sollte dahingehend ausgelegt werden, dass es eine Zweckbestimmung von Komponenten, Schritten, Merkmalen, Aufgaben, Vorzügen, Vorteilen oder dergleichen für die Öffentlichkeit verursachen würde, unabhängig davon, ob dies in den Ansprüchen angegeben ist. Es versteht sich, dass die hier verwendeten Begriffe und Ausdrücke die gewöhnliche Bedeutung haben, die diesen Begriffen und Ausdrücken in Bezug auf ihre jeweils entsprechenden Nachforschungs- und Untersuchungsbereiche zugewiesen wird, außer dort, wo besondere Bedeutungen hier anderweitig dargelegt wurden. Beziehungsbegriffe wie erster und zweiter und dergleichen können allein dazu verwendet werden, eine Einheit oder Handlung von einer anderen zu unterscheiden, ohne notwendigerweise eine tatsächliche solche Beziehung oder Reihenfolge zwischen diesen Einheiten oder Handlungen zu erfordern oder zu implizieren. Die Begriffe „weist auf“, „aufweisend“ bzw. „umfasst“, „umfassend“ oder andere Abwandlungen davon sollen eine nicht ausschließende Einbeziehung abdecken, beispielsweise dass ein Prozess, ein Verfahren, Produkt oder eine Vorrichtung, die eine Liste von Elementen aufweist bzw. umfasst, nicht nur diese Elemente enthält, sondern auch andere Elemente enthalten kann, die nicht ausdrücklich aufgeführt oder für diese Prozesse, Verfahren, Produkte oder Vorrichtungen typisch sind. Ein Element, dem „ein“ bzw. „eine“ oder „eines“ vorangestellt ist, schließt ohne weitere Beschränkungen nicht das Vorhandensein zusätzlicher identischer Elemente in dem Prozess, dem Verfahren, dem Produkt oder der Vorrichtung aus, der bzw. das bzw. die das Element aufweist.

[0056] Die Zusammenfassung der Offenbarung wird bereitgestellt, um es dem Leser zu ermöglichen, schnell die Art der technischen Offenbarung festzustellen. Sie wird mit der Maßgabe vorgelegt, dass sie nicht dazu verwendet wird, den Geltungsbereich oder die Bedeutung der Ansprüche auszulegen oder einzuschränken. Zusätzlich ist in der vorstehenden ausführlichen Beschreibung zu sehen, dass zur Straffung der Offenbarung verschiedene Merkmale in verschiedenen Ausführungsformen zu Gruppen zusammengefasst sind. Dieses Offenlegungsverfahren ist nicht dahingehend auszulegen, dass es eine Absicht widerspiegeln würde, dass die beanspruchten Ausführungsformen mehr Merkmale aufweisen als ausdrücklich in jedem Anspruch angegeben sind. Wie die folgenden Ansprüche widerspiegeln, liegt der erfinderische Gegenstand vielmehr in weniger als allen Merkmalen einer einzelnen offenbarten Ausführungsform. Somit werden die folgenden Ansprüche hiermit in die ausführliche Beschreibung aufgenommen, wobei jeder Anspruch als getrennt beanspruchter Gegenstand für sich allein steht.

Patentansprüche

1. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern, das aufweist:
Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale;
Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und semistatischen Merkmale;
Erzeugen eines lokalen Modells an einem lokalen Standort für jede der Kohorten;
Trainieren des lokalen Modells an lokalen Daten für

jede der Kohorten für jeden Ausfalltyp;
Freigeben des trainierten lokalen Modells für eine zentrale Datenbank;
Erzeugen eines globalen Modells auf der Grundlage einer Zusammenfassung einer Mehrzahl der lokalen Modelle von einer Mehrzahl der lokalen Standorte; und
an jedem der Mehrzahl lokaler Standorte:
Wählen des globalen Modells oder des lokalen Modells für jede der Kohorten; und
Betreiben des gewählten Modells mit lokalen Daten, um einen Ausfall von einem oder mehreren der zu einer der Kohorten gehörenden Anlagegüter vorherzusagen.

2. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 1, das weiterhin Erzeugen eines Vorlagemodells zum Erstellen jedes der lokalen Modelle für jede der Kohorten aufweist.

3. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 1, das weiterhin aufweist:
Zusammenlegen der lokalen Modelle von jedem der Mehrzahl lokaler Standorte in einen Pool lokaler Modelle; und
Ermitteln einer Leistung des globalen Modells und eines ausgewählten der lokalen Modelle aus dem Pool lokaler Modelle.

4. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 3, wobei das gewählte Modell auf der Grundlage der Leistung des globalen Modells und des ausgewählten der lokalen Modelle ausgewählt wird.

5. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 3, das weiterhin Ermitteln einer Abweichung zwischen dem globalen Modell und dem ausgewählten der lokalen Modelle aufweist.

6. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 3, das weiterhin Optimieren des gewählten Modells auf der Grundlage der lokalen Daten der Anlagegüter aufweist, um die Leistung des lokalen Modells zu verbessern.

7. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 6, das weiterhin Bereitstellen des optimierten gewählten Modells für den Pool lokaler Modelle aufweist.

8. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 3, das weiterhin Aktualisieren des globalen Modells auf der Grundlage eines Mittelwerts jedes der lokalen Modelle im Pool der lokalen Modelle für jede der Kohorten aufweist.

9. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 3, wobei jedes der lokalen Modelle in dem Pool lokaler Modelle auf der Grundlage einer mittleren Anzahl von Anlagegütern des lokalen Standorts gewichtet wird, der das lokale Modell für den Pool lokaler Modelle bereitgestellt hat.

10. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern, wobei das Verfahren aufweist:
Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale;
Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und semistatischen Merkmale;
Erzeugen eines lokalen Modells an einem lokalen Standort für jede der Kohorten;
Freigeben des lokalen Modells für eine zentrale Datenbank;
Bilden eines Pools lokaler Modelle aus einer Mehrzahl der lokalen Modelle von einer repräsentativen Mehrzahl der lokalen Standorte;
Erzeugen eines globalen Modells auf der Grundlage einer Zusammenfassung der Mehrzahl der lokalen Modelle von der Mehrzahl der lokalen Standorte;
an jedem der Mehrzahl lokaler Standorte:
Wählen von einem aus dem globalen Modell und einem aus der Mehrzahl lokaler Modelle aus dem Pool lokaler Modelle für jede der Kohorten; und
Betreiben des gewählten Modells mit lokalen Daten, um den Ausfall von einem oder mehreren der zu dieser Kohorte gehörenden Anlagegüter vorherzusagen.

11. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 10, das weiterhin Erzeugen eines Vorlagemodells zum Erstellen jedes der lokalen Modelle für jede der Kohorten aufweist.

12. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 10, das weiterhin Ermitteln einer Abweichung zwischen dem globalen Modell und dem gewählten Modell aufweist.

13. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 10, das weiterhin Optimieren des gewählten Modells auf der Grundlage lokaler Daten aufweist, um eine Leistung des lokalen Modells zu verbessern.

14. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 13, das weiterhin Bereitstellen des optimierten gewählten Modells für den Pool lokaler Modelle aufweist.

15. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 10, das weiterhin Aktualisieren des globalen Modells auf der Grundlage eines Mittelwerts jedes der lokalen Modelle im Pool der lokalen Modelle für jede der Kohorten aufweist.

16. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 15, wobei jedes der lokalen Modelle in dem Pool lokaler Modelle auf der Grundlage einer mittleren Anzahl von Anlagegütern des lokalen Standorts gewichtet wird, der das lokale Modell für den Pool lokaler Modelle bereitgestellt hat.

17. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren zur Vorhersage eines Ausfalls von Anlagegütern, wobei das Verfahren aufweist:
Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale;
Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und semistatischen Merkmale;
Erzeugen eines lokalen Modells an einem lokalen Standort für jede der Kohorten;
Erzeugen eines globalen Modells für jede der Kohorten;\ an jedem der Mehrzahl lokaler Standorte:
Wählen eines aus dem globalen Modell und dem lokalen Modell für jede der Kohorten; und
Betreiben des gewählten Modells mit lokalen Daten für den lokalen Standort, um einen Ausfall von einem oder mehreren der zu einer der Kohorten gehörenden Anlagegüter vorherzusagen.

18. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 17, das weiterhin aufweist:
Speichern jedes der lokalen Modelle für die Mehrzahl lokaler Standorte in einer zentralen Datenbank; und
Aktualisieren des globalen Modells auf der Grundlage eines Mittelwerts jedes der lokalen Modelle in einem Pool lokaler Modelle für jede der Kohorten.

19. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 18, wobei jedes der lokalen Modelle in dem Pool lokaler Modelle auf der Grundlage einer mittleren Anzahl von Anlagegütern des lokalen Standorts gewichtet wird, der das lokale Modell für den Pool lokaler Modelle bereitgestellt hat.

20. Auf einem Computer umgesetztes Verfahren nach Anspruch 18, das weiterhin aufweist:
an jedem der Mehrzahl lokaler Standorte:
Wählen eines aus dem aktualisierten globalen Modell und dem lokalen Modell für jede der Kohorten; und
Betreiben des gewählten Modells mit lokalen Daten, um einen Ausfall der Anlagegüter vorherzusagen.

21. Nichttransitorisches computerlesbares Speichermedium mit darin in materieller Form verkörpertem computerlesbarem Programmcode, der computerlesbare Anweisungen aufweist, die, wenn sie ausgeführt werden, bewirken, dass eine Computereinheit ein Verfahren zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern ausführt, wobei das Verfahren aufweist:
Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale;
Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und semistatischen Merkmale;
Erzeugen eines lokalen Modells an einem lokalen Standort für jede der Kohorten;
Freigeben des lokalen Modells für eine zentrale Datenbank;
Bilden eines Pools lokaler Modelle aus einer Mehrzahl der lokalen Modelle von einer repräsentativen Mehrzahl der lokalen Standorte;
Erzeugen eines globalen Modells auf der Grundlage einer Zusammenfassung der Mehrzahl der lokalen Modelle von der Mehrzahl der lokalen Standorte;
an jedem der Mehrzahl lokaler Standorte:
Wählen von einem aus dem globalen Modell und einem aus der Mehrzahl lokaler Modelle aus dem Pool lokaler Modelle für jede der Kohorten; und
Betreiben des gewählten Modells mit den lokalen Daten, um einen Ausfall von einem oder mehreren der zu einer der Kohorten gehörenden Anlagegüter vorherzusagen.

22. Nichttransitorisches computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 21, wobei die Ausführung des Codes durch den Prozessor die Computereinheit weiterhin zum Durchführen eines Schritts konfiguriert, der Erzeugen eines Vorlagemodells zum Erstellen jedes der lokalen Modelle für jede der Kohorten umfasst.

23. Nichttransitorisches computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 19, wobei die Ausführung des Codes durch den Prozessor die Computereinheit weiterhin zum Durchführen eines Schritts konfiguriert, der Aktualisieren des globalen Modells auf der Grundlage eines Mittelwerts jedes der lokalen Modelle im Pool lokaler Modelle für jede der Kohorten umfasst.

24. Nichttransitorisches computerlesbares Speichermedium mit darin in materieller Form verkörpertem computerlesbarem Programmcode, der computerlesbare Anweisungen aufweist, die, wenn sie ausgeführt werden, bewirken, dass eine Computereinheit ein Verfahren zum Vorhersagen eines Ausfalls von Anlagegütern ausführt, wobei das Verfahren aufweist:
Aufteilen von Merkmalen der Anlagegüter in statische Merkmale, semistatische Merkmale und dynamische Merkmale;
Bilden von Kohorten der Anlagegüter auf der Grundlage der statischen Merkmale und semistatischen Merkmale;
Erzeugen eines lokalen Modells an einem lokalen Standort für jede der Kohorten;
Erzeugen eines globalen Modells für jede der Kohorten;

an jedem der Mehrzahl lokaler Standorte:
Wählen eines aus dem globalen Modell und dem lokalen Modell für jede der Kohorten; und
Betreiben des gewählten Modells mit den lokalen Daten, um einen Ausfall von einem oder mehreren der zu einer der Kohorten gehörenden Anlagegüter vorherzusagen.

25. Nichttransitorisches computerlesbares Speichermedium nach Anspruch 24, wobei die Ausführung des Codes durch den Prozessor die Computereinheit weiterhin zum Durchführen von Schritten konfiguriert, die umfassen:
Speichern jedes der lokalen Modelle für die Mehrzahl lokaler Standorte in einer zentralen Datenbank; und
Aktualisieren des globalen Modells auf der Grundlage eines Mittelwerts jedes der lokalen Modelle in einem Pool lokaler Modelle für jede der Kohorten.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

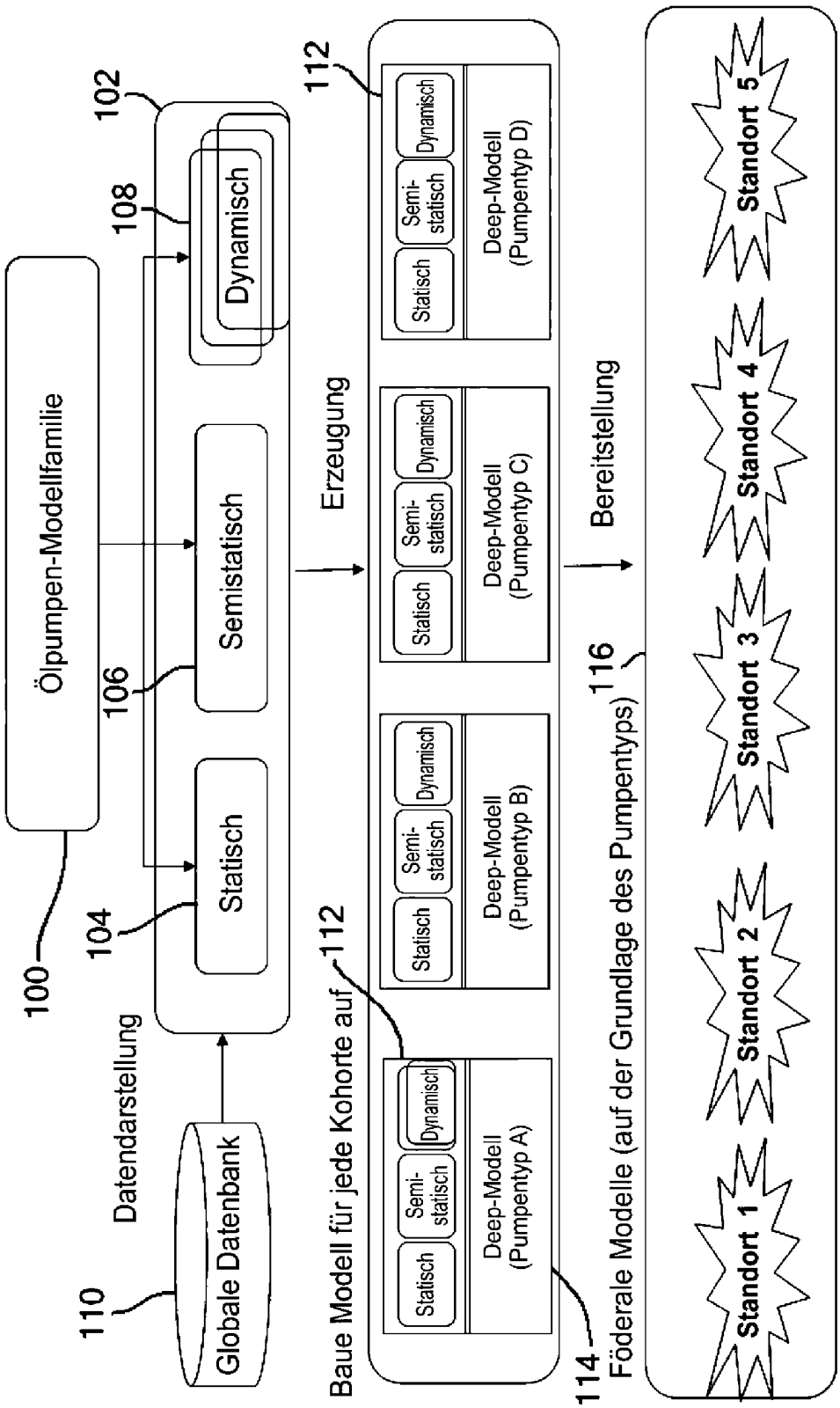


FIG. 1

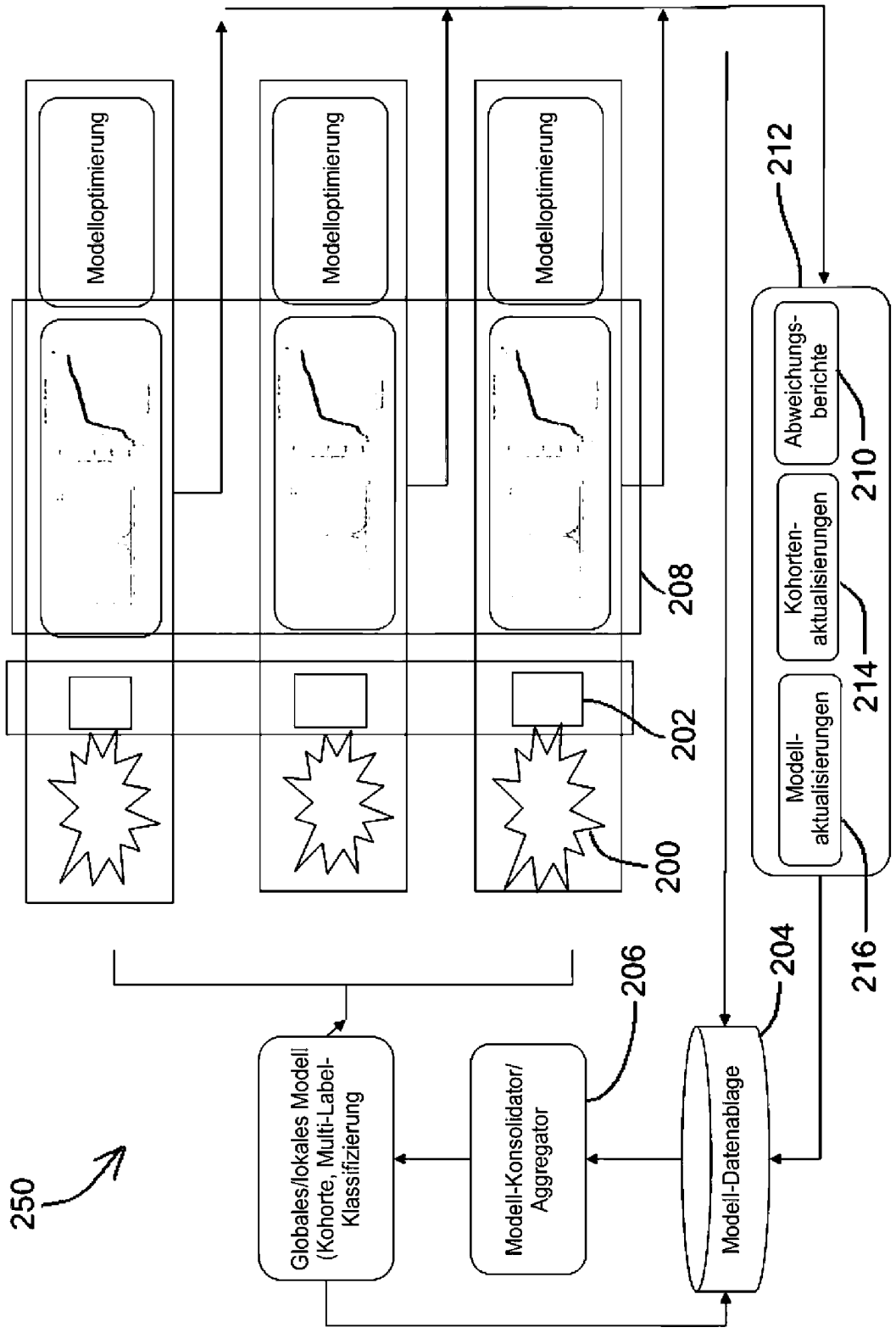

Modelloptimierung
Modelloptimierung
Modelloptimierung
208
202
200
212
Abweichungs-berichte
210
Kohorten-aktualisierungen
214
Modell-aktualisierungen
216
206
204
250
Globales/lokales Modell (Kohorte, Multi-Label-Klassifizierung
Modell-Konsolidator/ Aggregator
Modell-Datenablage

FIG. 2

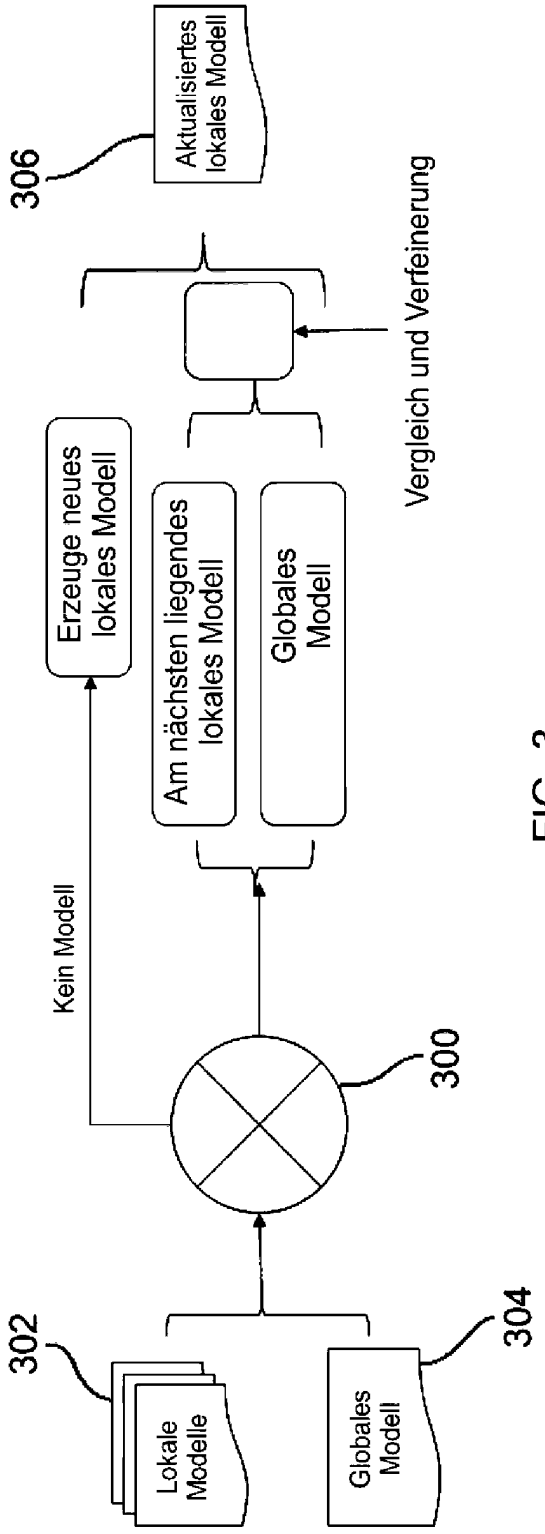

306
Aktualisiertes lokales Modell
Vergleich und Verfeinerung
Erzeuge neues lokales Modell
Am nächsten liegendes lokales Modell
Globales Modell
Kein Modell
300
302
Lokale Modelle
304
Globales Modell

FIG. 3

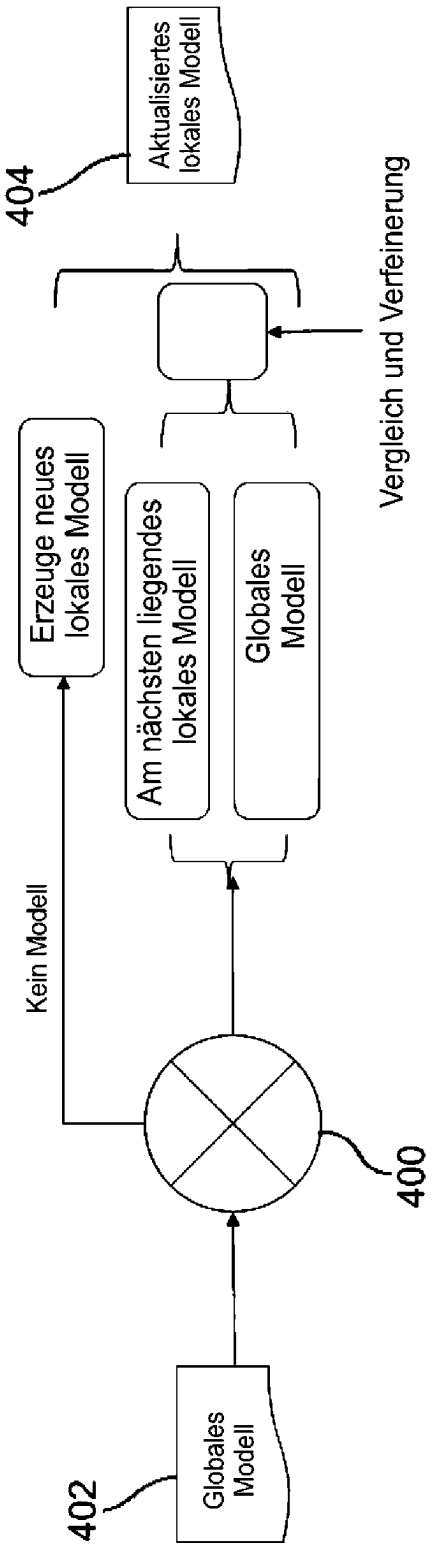

Globales Modell
402
400
Kein Modell
Erzeuge neues lokales Modell
Am nächsten liegendes lokales Modell
Globales Modell
Vergleich und Verfeinerung
404
Aktualisiertes lokales Modell

FIG. 4

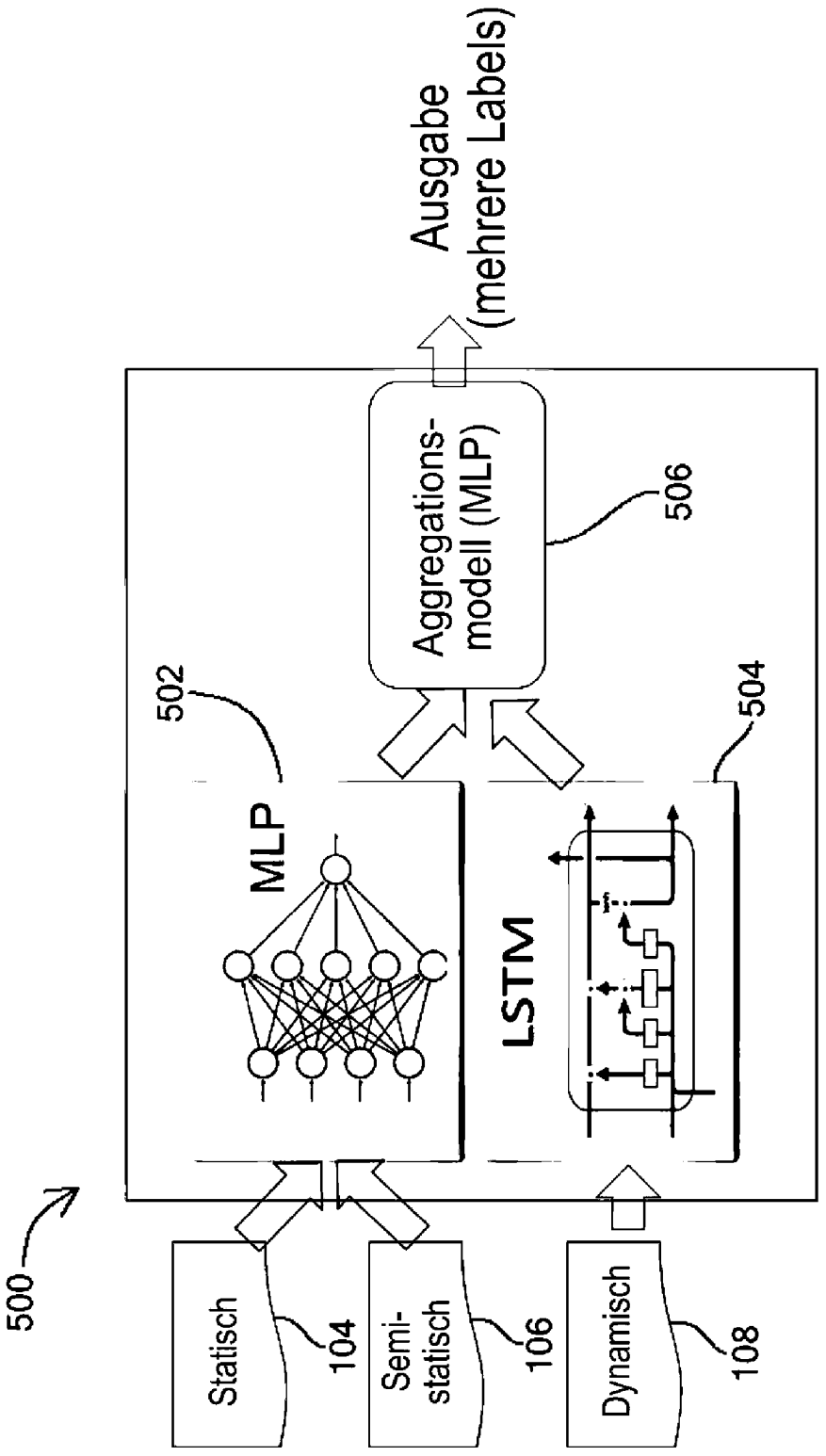

Ausgabe
(mehrere Labels)
Aggregations-
modell (MLP)
506
502
504
MLP
LSTM
500
Statisch
104
Semi-
statisch
106
Dynamisch
108

FIG. 5

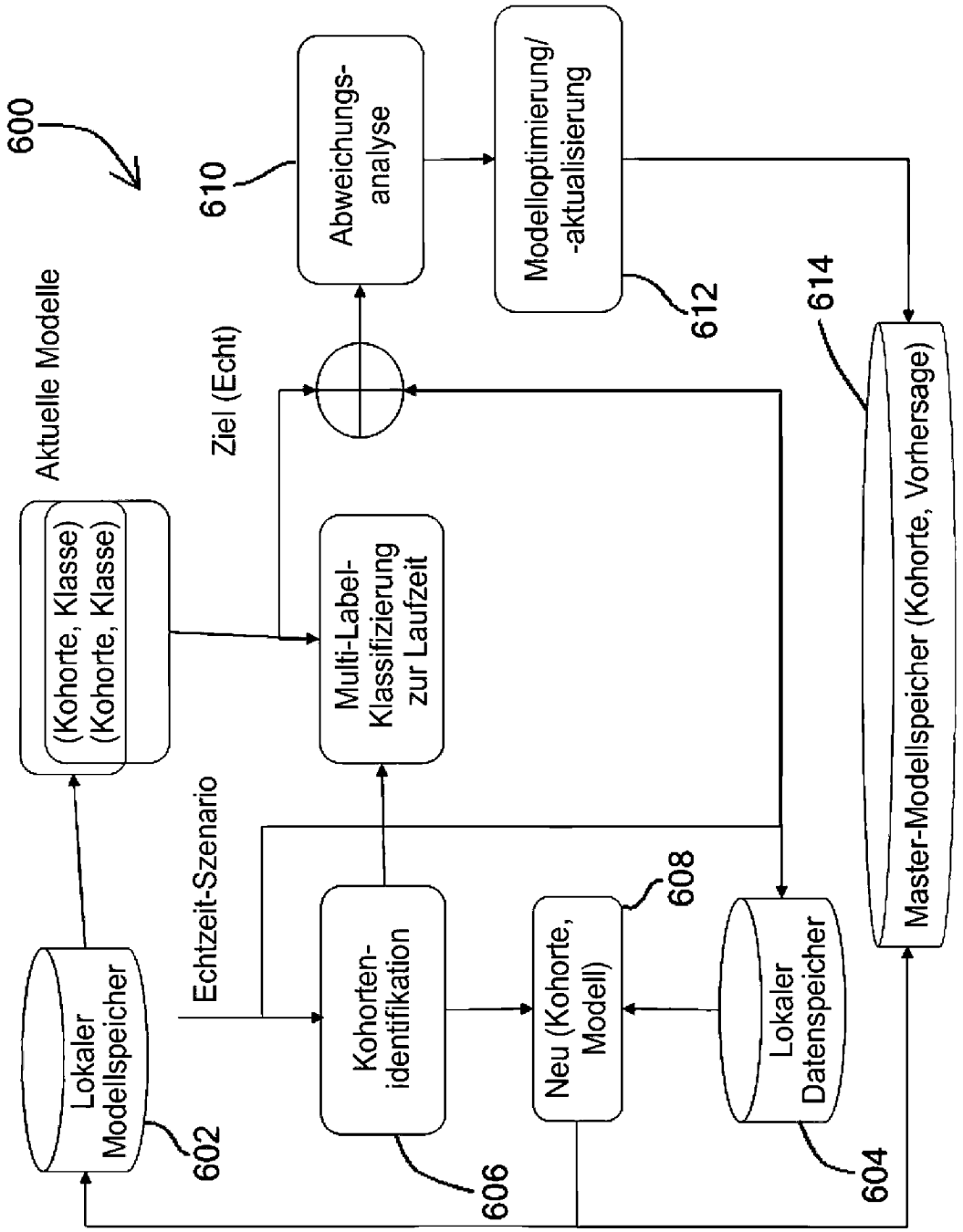

600
610
Abweichungs-
analyse
Modelloptimierung/
-aktualisierung
612
614
Aktuelle Modelle
Ziel (Echt)
(Kohorte, Klasse)
(Kohorte, Klasse)
Multi-Label-
Klassifizierung
zur Laufzeit
Master-Modellspeicher (Kohorte, Vorhersage)
Echtzeit-Szenario
Lokaler
Modellspeicher
602
Kohorten-
identifikation
606
Neu (Kohorte,
Modell)
608
Lokaler
Datenspeicher
604

FIG. 6

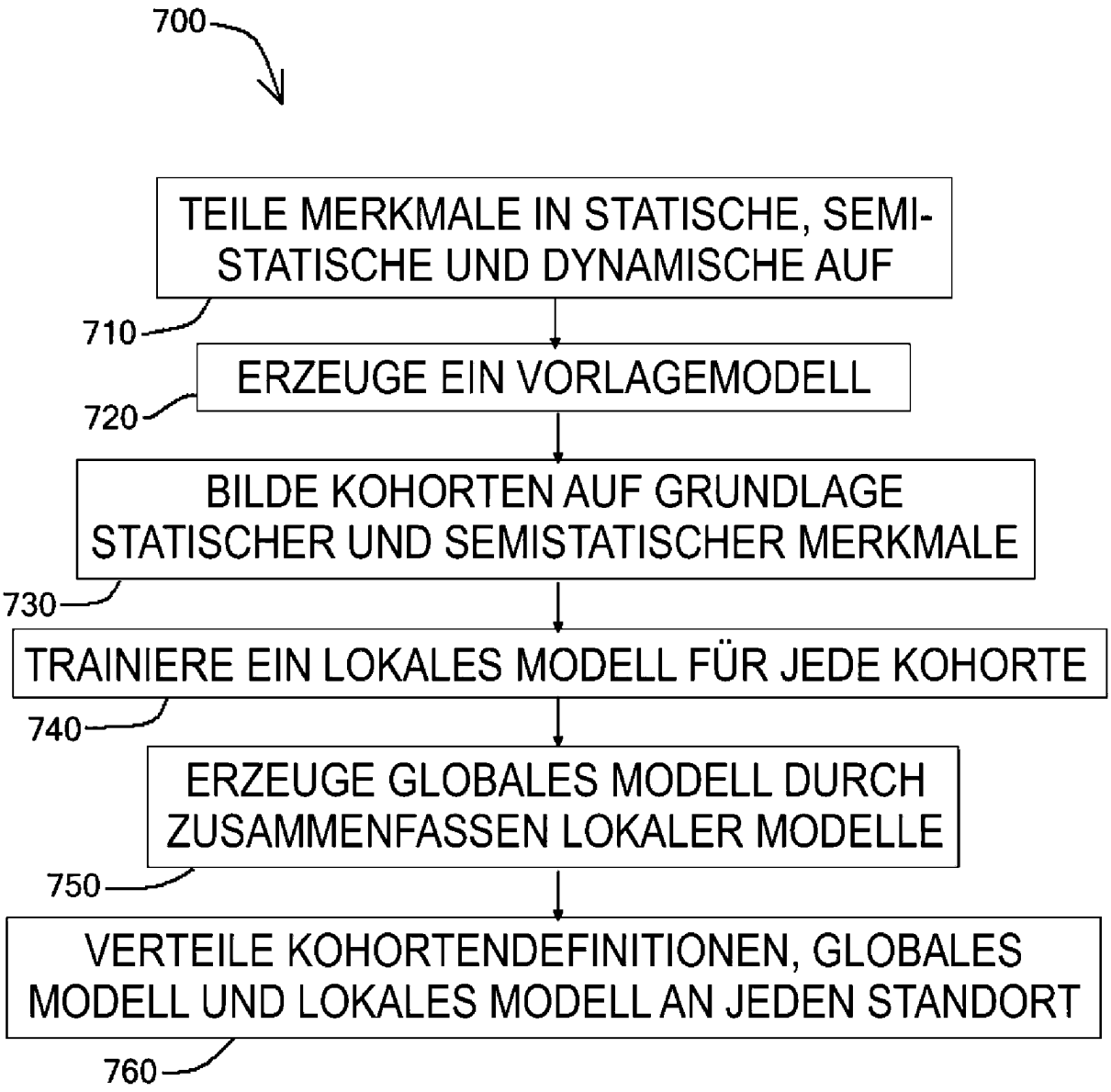

700
TEILE MERKMALE IN STATISCHE, SEMI-STATISCHE UND DYNAMISCHE AUF
710
ERZEUGE EIN VORLAGEMODELL
720
BILDE KOHORTEN AUF GRUNDLAGE STATISCHER UND SEMISTATISCHER MERKMALE
730
TRAINIERE EIN LOKALES MODELL FÜR JEDE KOHORTE
740
ERZEUGE GLOBALES MODELL DURCH ZUSAMMENFASSEN LOKALER MODELLE
750
VERTEILE KOHORTENDEFINITIONEN, GLOBALES MODELL UND LOKALES MODELL AN JEDEN STANDORT
760

FIG. 7

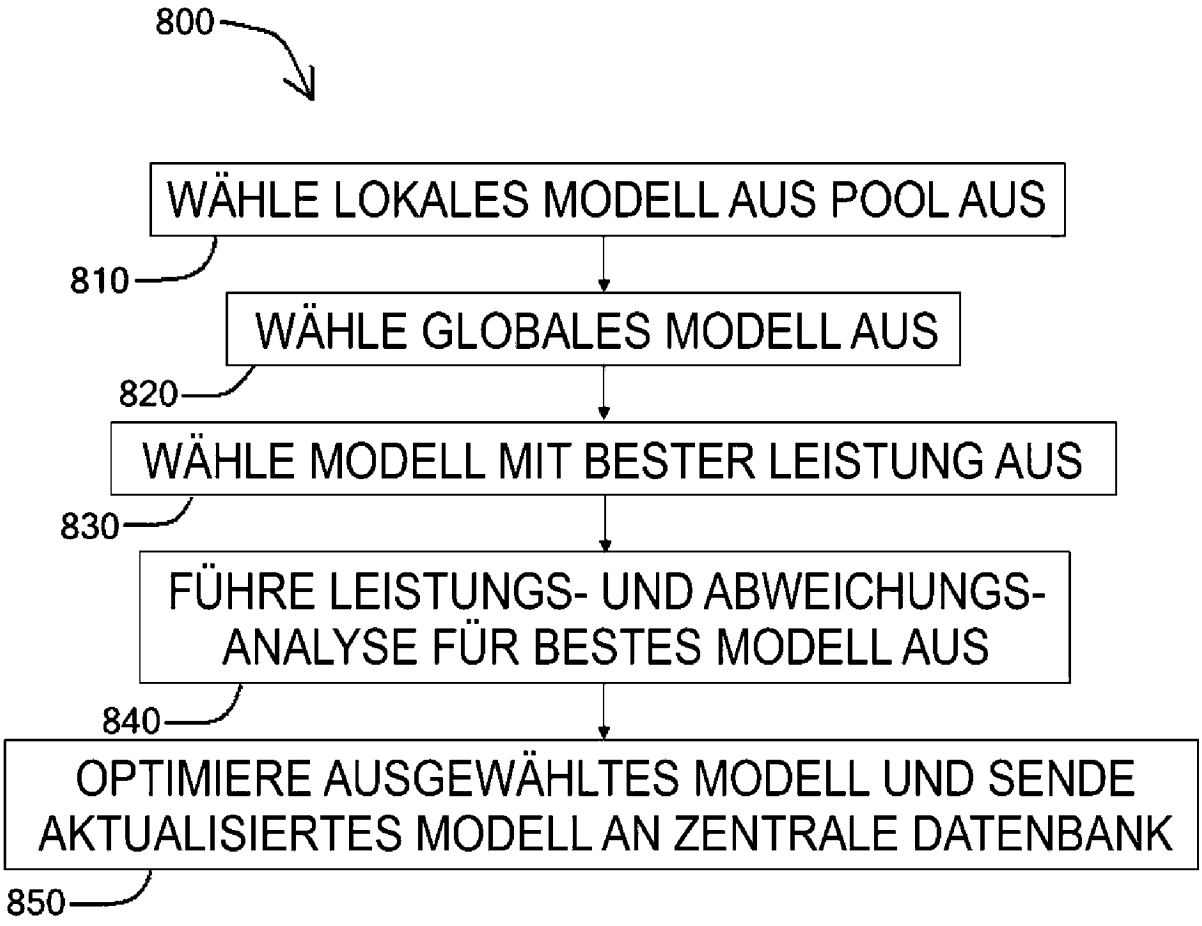

800
WÄHLE LOKALES MODELL AUS POOL AUS
810
WÄHLE GLOBALES MODELL AUS
820
WÄHLE MODELL MIT BESTER LEISTUNG AUS
830
FÜHRE LEISTUNGS- UND ABWEICHUNGS-ANALYSE FÜR BESTES MODELL AUS
840
OPTIMIERE AUSGEWÄHLTES MODELL UND SENDE AKTUALISIERTES MODELL AN ZENTRALE DATENBANK
850

FIG. 8

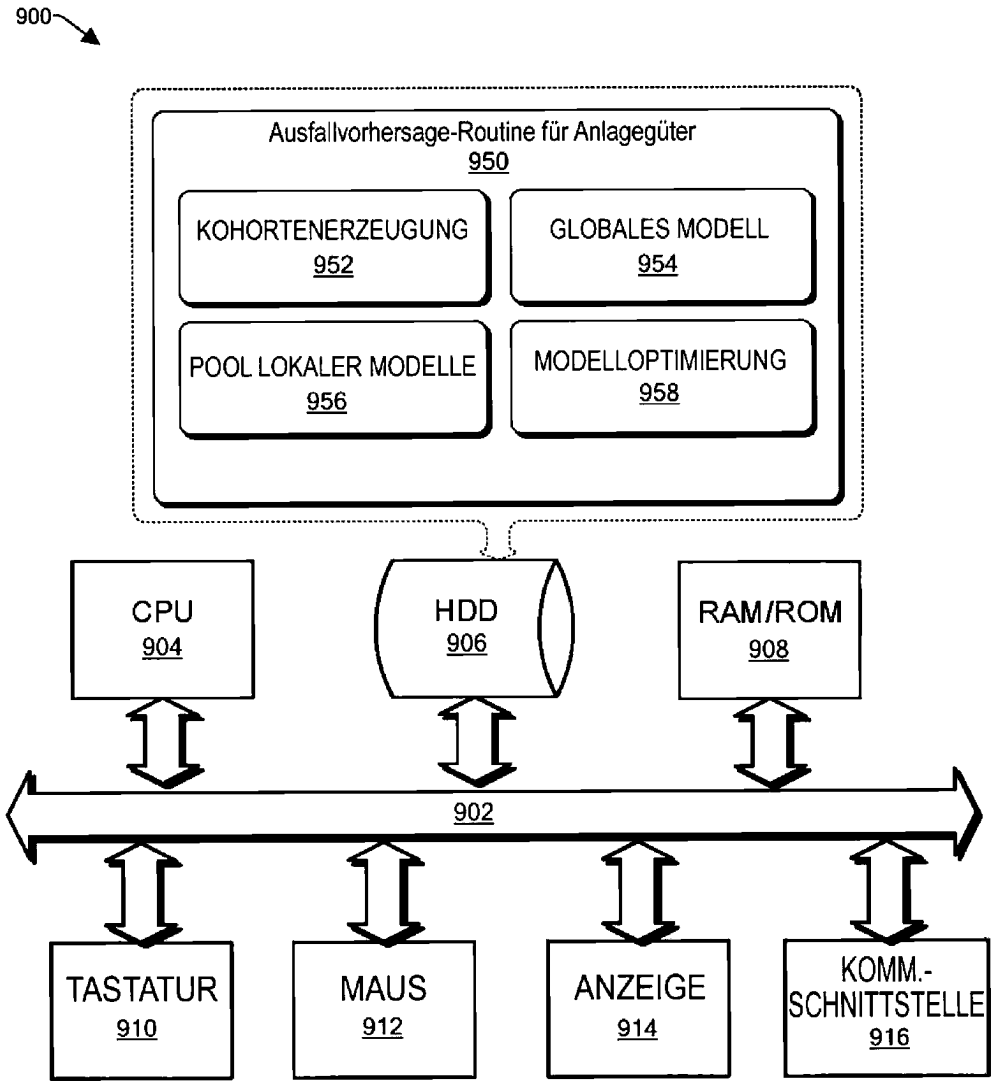


FIG. 9

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.