

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
9. Januar 2014 (09.01.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2014/005938 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*G06N 5/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/063610

(22) Internationales Anmeldedatum:  
28. Juni 2013 (28.06.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2012 211 511.0 3. Juli 2012 (03.07.2012) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: FISCHER, Jan-Gregor; Bucherstraße 6, 85604 Zorneding (DE). ROSHCHIN, Mikhail; Regina-Ullmann-Str. 26, 85622 Feldkirchen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

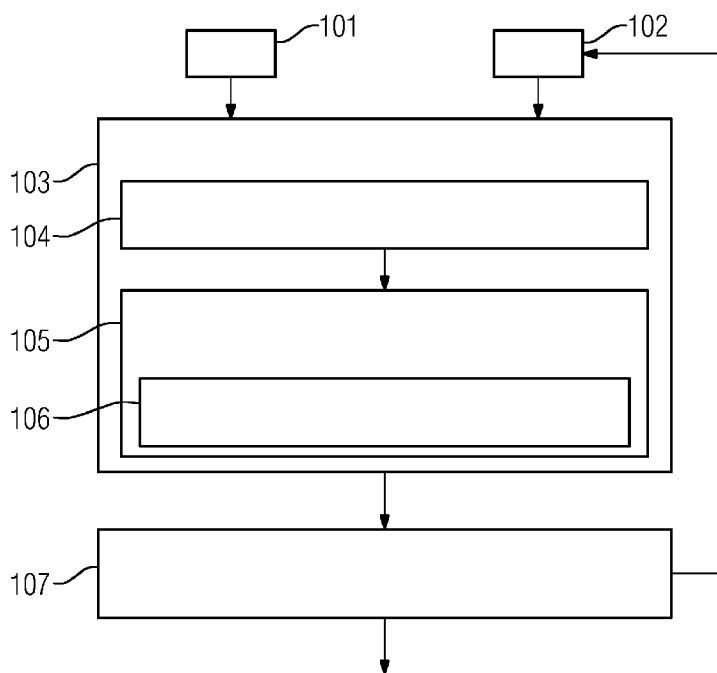
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: DETERMINATION OF THE SUITABILITY OF A RESOURCE

(54) Bezeichnung : BESTIMMUNG DER EIGNUNG EINER RESSOURCE

FIG 1



(57) Abstract: According to the invention, a resource, which could optionally be used for a maintenance task of a technical system, is taken into consideration and the possible use thereof is checked even if not all conditions that would be required as per a model description of the resource are met. Thus, a compromise for a resource that comes closest to the sought resource, i.e. is as suitable as possible, can be found in an automated and efficient manner. The invention can be used, for example, for maintenance tasks of large and complex technical systems, for example, in automation technology or production technology.

(57) Zusammenfassung: Es wird vorgeschlagen, eine Ressource, die ggf. für einen Wartungsauftrag eines technischen Systems verwendbar sein könnte, auch dann zu berücksichtigen und deren möglichen Einsatz zu überprüfen, wenn sie nicht alle Bedingungen erfüllt, die gemäß einer Modellbeschreibung der Ressource erforderlich wären. So kann automatisiert und effizient ein Kompromiss gefunden werden für eine Ressource, die der gesuchten Ressource am nächsten kommt, d.h. möglichst gut passt. Die Erfindung kann beispielsweise für Wartungsaufträge großer und komplexer technischer Systeme, z.B. in der Automatisierungs- oder Fertigungstechnik, eingesetzt werden.

WO 2014/005938 A2

Beschreibung

Bestimmung der Eignung einer Ressource

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Eignung einer Ressource in einem technischen System.

10 Ontologien in der Informatik sind sprachlich gefasste und formal geordnete Darstellungen einer Menge von Begrifflichkeiten und der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen in einem bestimmten Gegenstandsbereich. Sie werden dazu genutzt, "Wissen" in digitalisierter und formaler Form zwischen Anwendungsprogrammen und Diensten auszutauschen. Wissen umfasst  
15 dabei sowohl Allgemeinwissen als auch Wissen über sehr spezielle Themengebiete und Vorgänge. Ontologien enthalten Inferenz- und Integritätsregeln, also Regeln zu Schlussfolgerungen und zur Gewährleistung deren Gültigkeit (vgl. [http://de.wikipedia.org/wiki/Ontologie\\_%28Informatik%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Ontologie_%28Informatik%29)).

20

Ein Abduktionsmechanismus ist beispielsweise bekannt aus [Thomas M. Hubauer, Steffen Lamparter, Michael Pirker. Automata-Based Abduction for Tractable Diagnosis. Proceedings of the DL Home 23rd International Workshop on Description Logics (DL 2010), vol. 573 of CEUR Workshop Proceedings, pp. 360-  
25 371. CEUR-WS.org, 2010] und ein relaxierter Abduktionsmechanismus ist beispielsweise bekannt aus [Thomas M. Hubauer, Steffen Lamparter, Michael Pirker. Relaxed Abduction: Robust Information Interpretation for Incomplete Models. Proceedings  
30 of the DL Home 24th International Workshop on Description Logics (DL 2011), vol. 745 of CEUR Workshop Proceedings. CEUR-WS.org, 2011].

Bei der Ressourcenplanung eines Wartungsprozesses müssen u.a.  
35 Mitarbeiter, Material und Maschinen den zu wartenden Systemen zugeteilt werden. Hierbei ist es speziell erforderlich in Fällen von fehlenden und/oder übererfüllten für die Wartung notwendigen Eigenschaften von Ressourcen, sowie im Fall von

mehreren für die Wartung in Frage kommenden, verfügbaren Ressourcen effektiv zu bestimmen, welche Ressourcen für welche Wartungsaufträge verwendet werden.

5 Es ist bekannt, die Ressourcen manuell Wartungsaufträgen zuzuteilen. Beispielsweise nutzen verantwortliche Mitarbeiter ihre Erfahrung unter Zuhilfenahme von zusätzlichen Informationen (z.B. frühere Aufstellungen der Ressourceneinsatzplanung, Tabellen für die Abbildung von Mitarbeitern und Material auf bestimmte, zu wartende Systeme), um eine Ressourcenselektion durchzuführen.

Bei Verwendung von CMMS (Computerized Maintenance Management Systemen, auf Deutsch etwa: computerbasierte Management-  
15 Wartungs-Systeme) kommen gelegentlich automatisierte Verfahren zum Einsatz, die diese Abbildungen regelbasiert als Entscheidungsgrundlage für verantwortliche Mitarbeiter ausführen.

20 Hierbei werden die Regeln in einer "Wenn-Dann-Form" meist so formuliert, dass die Regelvorbedingung das zu wartende System (oder dessen Kategorie) beinhaltet, und die Regelnachbedingung die Ressource auswählt. Je nachdem, wie detailliert der Ressourceneinsatz geplant werden soll, können wenige Regeln  
25 ausreichend (Grobplanung auf Ebene von Kategorien zu wartender Systeme mit bekannten Fehlern und eingesetzten Ressourcen) oder es können sehr viele Regeln notwendig sein (Feinplanung auf Ebene von zu wartenden Systeminstanzen mit bekannten Fehlern und einzelnen namentlich bekannten Mitarbeitern,  
30 Maschinen und Materialien).

Derartige Systeme stoßen speziell bei der Feinplanung aufgrund des sehr hohen Aufwands der Pflege der Regeln schnell an ihre Grenzen. Neue, die Wartung betreffende Systeme, Mitarbeiter, Maschinen und Materialien müssen in Form von Regeln  
35 eingepflegt, nicht mehr aktuelle Regeln entfernt und bestehende Regeln bei Änderungen im Wartungsprozess ggf. überarbeitet werden.

Zudem ist eine effektive Ressourcenplanung unter Berücksichtigung von unsicheren Informationen nicht immer möglich, da die Zuteilungsregeln bei eingeschränkt bekannten Vorbedingungen (z.B. unbekannter Fehler am System) und/oder bei eingeschränkt bekannten Nachbedingungen (z.B. unbekannte Eignung einer Ressource) aus technischen Gründen nicht ausgelöst werden. In diesem Fall muss die Planung manuell vervollständigt werden. Zudem ist die Ableitungsrichtung bei regelbasierten Systemen für die Funktionalität entscheidend. Im o.g. Fall werden Systemfehler auf die für die Wartung notwendige Ressourcen abgebildet.

Bei Berücksichtigung von Restriktionen der Ressourcen muss zusätzlich auch die Ableitungsrichtung von Ressourcen zu Systemfehlern vorgenommen werden. Hierfür kommen heutzutage gelegentlich Constraint-basierte Technologien (ein Constraint entspricht einer Einschränkung, angegeben z.B. im Form einer Nebenbedingung) zum Einsatz, die jedoch wie bei den zuvor beschriebenen regelbasierten Verfahren nicht mit unsicheren Informationen umgehen können, und auch von den übrigen Nachteilen wie der schlechten Skalierbarkeit und der komplexen Systempflege betroffen sind.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die vorstehend genannten Nachteile zu vermeiden und insbesondere einen effizienten Ansatz für den Einsatz von Ressourcen in einem technischen System zu schaffen.

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind insbesondere den abhängigen Ansprüchen entnehmbar.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren angegeben zur Bestimmung der Eignung einer Ressource in einem technischen System,

- bei dem mindestens eine Ressource bestimmt wird, die mindestens eine Bedingung eines Modells verletzt,

- bei dem die Eignung der mindestens einen Ressource bestimmt wird.

Somit ist es möglich, eine Ressource auch dann zuzuweisen  
5 oder zu verwenden, wenn diese eine definierte Bedingung des  
Modells nicht erfüllt oder verletzt. In diesem Fall kann eine  
am nächstbesten passende Ressource automatisch ermittelt und  
eingesetzt werden insbesondere für den Fall, dass es mehrere  
10 Alternativen gibt und keine der Alternativen perfekt passt.  
Beispielsweise können alle Ressourcen, die mindestens eine  
Bedingung des Modells verletzen, priorisiert werden und es  
kann dann diejenige Ressource angezeigt und/oder ausgewählt  
werden, die den besten Kompromiss zum Einsatz oder zur Ver-  
wendung in dem technischen System darstellt.

15

Bei der Ressource kann es sich um eine beliebige Komponente  
oder einen Teil (z.B. ein Ersatzteil) des technischen Systems  
handeln. Auch kann die Ressource eine für einen Vorgang not-  
wendige Ressource sein, z.B. ein Ingenieur, der für einen  
20 Wartungsauftrag benötigt wird.

25

Bei dem technischen System kann es sich um eine technische  
Anlage, eine Fertigung, eine Prozessüberwachung, ein Kraft-  
werk oder Ähnliches handeln.

Eine Weiterbildung ist es, dass die Ressource zugewiesen oder  
eingesetzt wird, sofern die Eignung einem vorbestimmten Kri-  
terium entspricht.

30 Beispielsweise kann mittels eines Schwellwertvergleichs er-  
mittelt werden, ob die nicht perfekt passende Ressource den-  
noch als geeignet beurteilt und damit z.B. als Ersatzteil  
eingesetzt werden kann.

35 Eine andere Weiterbildung ist es, dass die mindestens eine  
Ressource die mindestens eine Bedingung des Modells verletzt,  
wenn die mindestens eine Ressource mindestens eine zusätzli-  
che, geänderte oder reduzierte Eigenschaft aufweist.

Beispielsweise kann die Ressource ein zu einer vorgegebenen Spezifikation (Bedingung) unterschiedliches Material aufweisen. Handelt es sich bei der Ressource z.B. um einen Wartungsingenieur, so kann dieser von der benötigten Qualifikation abweichende Kenntnisse haben und ggf. dennoch als Wartungsingenieur für eine bestimmte Aufgabe, z.B. dem Austausch oder der Reparatur einer Pumpe, eingesetzt werden.

10 Insbesondere ist es eine Weiterbildung, dass die Eignung der Ressource bestimmt wird anhand vorbestimmter Daten betreffend die Eigenschaften für die Ressource.

Beispielsweise können vorbestimmte Daten betreffend ein Material, einen Kenntnisstand, etc. einer Ressource bereitgestellt werden, um so eine Vergleichbarkeit oder Austauschbarkeit der Eigenschaften zu erreichen. Beispielsweise kann eine skalare Größe verwendet werden, z.B. in einem Wertebereich von 0 bis 1, die angibt, ob in dem vorliegenden System ein Material A durch ein Material B ausgetauscht werden könnte (z.B. gibt "1" an, dass ein Austausch keine Option darstellt und ein Wert "0" gibt an, dass es egal ist, ob Material A oder B verwendet wird). So kann z.B. in einer Datenbank die skalare Größe abgelegt sein, die einen Wert für die Vergleichbarkeit der Materialien A und B angibt. Anhand des Wertes kann rückgeschlossen werden, z.B. durch einen Schwellwertvergleich mit einer vorgegebenen Mindest-Übereinstimmung, ob Material A für eine auszutauschende Komponente, die aus Material B besteht, eingesetzt werden kann. Dieser Ansatz gilt entsprechend auch für andere Eigenschaften als das hier beispielhaft erwähnte "Material", z.B. einen Kenntnisstand eines Ingenieurs, eine Leistung eines Bauteils, einen Stromverbrauch, etc.

35 Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass das Modell eine Beschreibung aufweisen kann, wonach eine Komponente z.B. aus dem Material A besteht, ohne dass bei der Beschreibung des Modells bereits berücksichtigt werden müsste, welche Materialien al-

ternativ noch in Frage kommen. Die Beschreibung kann also die vorhandenen Informationen der Komponenten nutzen und diese möglichst umfassend beschreiben. Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, zu einem späteren Zeitpunkt automatisiert  
5 festzustellen, ob die Komponente aus dem Material B als Ersatzbauteil in Frage kommt, indem der Vergleich der Eigenschaften anhand der vorbestimmten Daten durchgeführt wird.

Auch ist es eine Weiterbildung, dass die Eignung der Ressource  
10 ce mittels eines Abduktionsmechanismus bestimmt wird, indem hypothetisch in Frage kommende Ressourcen auf ihre Eignung geprüft werden.

Bei der hypothetisch in Frage kommenden Ressource handelt es  
15 sich um eine Ressource, die mindestens eine Bedingung eines Modells verletzt.

Optional können die in Frage kommenden Ressourcen priorisiert  
20 werden.

Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn für eine Vielzahl von Ressourcen ermittelt wird, ob diese geeignet wären. Anhand des erläuterten Vergleichs mit vorbestimmten Daten betreffend die Eigenschaften der in Frage kommenden Ressourcen  
25 ist es möglich, einen Wert (z.B. zwischen 0 und 1) für deren Eignung auszugeben und die in Frage kommenden Ressourcen gemäß dieses Wertes zu sortieren.

Optional können die priorisierten Ressourcen angezeigt werden.  
30

Im Rahmen einer zusätzlichen Weiterbildung wird die am höchsten priorisierte Ressource verwendet, d.h. z.B. in dem technischen System eingesetzt oder diesem zugewiesen.  
35

Eine nächste Weiterbildung besteht darin, dass das Modell beschreibungslogische Vorschriften einer Wissensbasis sowie ein

instanziiertes technisches System insbesondere in Form einer Ontologie umfasst.

Die beschreibungslogischen Vorschriften können in einer Definition, auch bezeichnet als TBox und das instanziierte technische System kann in einer ABox zusammengefasst sein. Sowohl TBox als auch ABox stellen eine Wissensbasis dar, beispielsweise in Form einer formalen, axiomatischen Beschreibung von z.B. Wartungsaufträgen, Ressourcen und Relationen. Beispielsweise kann hierfür eine Ontologie, z.B. OWL (Web Ontology Language), eingesetzt werden.

Ergänzend sei angemerkt, dass der Abduktionsmechanismus z.B. einen Selektionsmechanismus und einen Priorisierungsmechanismus umfassen kann. Der Selektionsmechanismus kann dabei optional vorgesehen sein. Der Abduktionsmechanismus liefert vorzugsweise eine Ressourceneinsatzpriorität, die von einem anschließenden Ressourceneinsatzmechanismus genutzt werden kann, um den Ressourceneinsatz zu planen oder durchzuführen.

Der Ressourceneinsatzmechanismus kann beispielhaft das instanziierte technische System gemäß der ABox entsprechend dem ermittelten Ressourceneinsatz anpassen.

Eine Ausgestaltung ist es, dass die Ressource zugewiesen oder eingesetzt wird im Rahmen eines Wartungsauftrags für ein technisches System.

Entsprechend sind andere Anwendungsbeispiele für die hier vorgestellte Lösung möglich.

Die vorstehende Aufgabe wird auch gelöst mittels einer Vorrichtung zur Bestimmung der Eignung einer Ressource in einem technischen System mit einer Verarbeitungseinheit, die derart eingerichtet ist, dass

- mindestens eine Ressource bestimmbar ist, die mindestens eine Bedingung eines Modells verletzt,

- die Eignung der mindestens einen Ressource bestimmbar ist.

Auch wird die obige Aufgabe gelöst mittels eines Systems umfassend mindestens eine solche Vorrichtung.

Die vorstehend gemachten Ausführungen betreffend das Verfahren gelten entsprechend auch für die Vorrichtung sowie das System.

10

Die hier vorgestellte Lösung umfasst ferner ein Computerprogrammprodukt, das direkt in einen Speicher eines digitalen Computers ladbar ist, umfassend Programmcodeteile, die dazu geeignet sind, Schritte des hier beschriebenen Verfahrens durchzuführen.

15

Weiterhin wird das oben genannte Problem gelöst mittels eines computerlesbaren Speichermediums, z.B. eines beliebigen Speichers, umfassend von einem Computer ausführbare Anweisungen (z.B. in Form von Programmcode), die dazu geeignet sind, dass der Computer Schritte des hier beschriebenen Verfahrens durchführt.

20

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden schematischen Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei können zur Übersichtlichkeit gleiche oder gleichwirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sein.

30

Es zeigen:

Fig.1 ein schematisches Diagramm zur Veranschaulichung der Zuweisung von Ressourcen an Wartungsaufträge unter Berücksichtigung unsicherer Ressourceninformationen;

35

Fig.2 ein schematisches Diagramm für ein Beispiel bei der Zuweisung eines Wartungsingenieurs für die Reparatur einer Pumpe, wobei der Wartungsingenieur nicht die laut TBox erforderliche Eigenschaft hat, dass er mit der Reparatur von Pumpen vertraut ist;

5

Fig.3 ein schematisches Diagramm für ein anderes Beispiel bei der Zuweisung eines Ersatzteils für die Reparatur einer Pumpe, obwohl das Ersatzteil ein anderes Material aufweist als für den Wartungsprozess vorgesehen ist.

10

Die hier vorgestellte Lösung ermöglicht eine effiziente Ressourcenplanung und/oder Ressourcenzuweisung eines technischen Systems bzw. für ein technisches System unter Berücksichtigung unsicherer Informationen. Dies wird beispielsweise anhand der nachfolgend erläuterten technischen Mechanismen erreicht.

15

20 Eine  $KB_{TBox}$  umfasst beschreibungslogische Vorschriften (TBox) in einer Wissensbasis (Knowledge Base) KB, vorzugsweise in Form einer Ontologiebeschreibungssprache OWL (Web Ontology Language) zur formalen, axiomatischen Beschreibung von Ressourcen, Wartungsaufträgen und deren gegenseitigen Relationen  
25 (speziell bzgl. der in Wartungsaufträgen definierten Systeme und Fehler).

25

Eine  $KB_{ABox}$  stellt verfügbare Ressourcen R und anstehende Wartungsaufträge WA dar in Form von Individuen, die gemäß  $KB_{TBox}$   
30 vorzugsweise in der Ontologiebeschreibungssprache OWL (Web Ontology Language) axiomatisch beschrieben sind.

30

A bezeichnet einen Abduktionsmechanismus mit Hypothesenbildung zur logikbasierten Identifikation aller hypothetischen, für die Wartung in Frage kommenden Ressourcen  
35

35

$$R_H \subseteq KB_{ABox},$$

wobei  $R_H$  diejenigen Ressourcen aus  $R$  enthält, deren Eigenschaften gemäß der beschreibungslogischen Abbildungsvorschriften in  $KB_{TBox}$  nicht direkt auf die Wartungsaufträge in  $WA$  abgebildet werden können. D.h., es werden nur tatsächlich verfügbare Ressourcen aus  $R$  berücksichtigt, deren Eigenschaften jedoch hypothetisch sind und gemäß  $KB_{TBox}$  vervollständigt werden.

Ein Hypothesenbildungsmechanismus  $HB$  (auch bezeichnet als Hypothesenbedingungen) des Abduktionsmechanismus  $A$ , analysiert Ressourcen  $R_H$ , die

- (a) verfügbar sind,
- (b) durch zusätzliche, geänderte oder reduzierte Eigenschaften / Eigenschaftswerte in der Vereinigung der Eigenschaften von Ressourcen in  $KB_{ABox}$  die logische Schlussfolgerung auf Wartungsaufträge aus der Menge  $WA$  ermöglichen.

Somit ermöglicht es der Hypothesenbildungsmechanismus  $HB$ , dass hypothetische Ressourcen aus  $R_H$  nicht alle für den Ressourceneinsatz für  $WA$  notwendigen Vorbedingungen vollständig erfüllen müssen.

Ein Selektionsmechanismus  $C$  des Abduktionsmechanismus  $A$  selektiert auf Basis der Hypothesenbildungsergebnisse in  $R_H$  die identifizierten, hypothetischen Ressourcen gemäß einer Selektionsvorschrift  $SV$ , und verfeinert damit die Ergebnismenge hypothetischer Ressourcen

$$R_{SV} \subseteq R_H \subseteq KB_{ABox},$$

die den späteren konkreten Ressourceneinsatz beschreiben.

Die Selektionsbedingungen können wie folgt beschrieben werden:

- $KB_{TBox}$  AND  $KB_{ABox}$  AND  $R_{SV}$  ist widerspruchsfrei;
- $KB_{TBox}$  AND  $KB_{ABox}$  AND  $R_{SV}$  genügt den Bedingungen von  $WA$ .

Hierbei stellt die Bezeichnung "AND" eine logische Und-Verknüpfung dar.

Ein Priorisierungsmechanismus B des Selektionsmechanismus C weist auf Basis einer vordefinierten, anpassbaren Priorisierungsvorschrift PV jeder durch die Selektion identifizierten Ressource in  $R_{SV}$  oder ihrer jeweiligen Ressourcenklasse je nach ihrer Eignung bzgl. der Wartung für eine Klasse von Wartungsaufträgen in WA und darin vorkommenden Systemen und Systemfehlern eine Ressourceneinsatzpriorität  $R_{HP}$  zu.

PV bildet Ressourceneigenschaften von  $R_{SV}$  in Abhängigkeit des möglichen Einsatzes für Wartungsaufträge in WA auf eine Priorität, z.B.

15

$$PV(r_{SV} \in R_{SV}, w \in WA) \rightarrow \{0, \dots, 1\}$$

ab, wobei ein niedriger Wert z.B. eine geringe Priorität (und somit einen sehr wahrscheinlichen Einsatz der Ressource für den einzelnen Wartungsauftrag w) und ein hoher Wert z.B. eine hohe Priorität (und somit einen sehr unwahrscheinlichen Einsatz der Ressource für den einzelnen Wartungsauftrag w) bedeutet.

Ein Ressourceneinsatzausführungsmechanismus E nimmt den Ressourceneinsatz RE entweder automatisch durch Buchung der Ressourcen in einem ggf. externen Informationssystem (z.B. ERP, SAP, CMMS) vor, oder visualisiert z.B. eine zusammenfassende Aufstellung von RE - ggf. mit Erklärung anhand eines Verfahrensberichts basierend auf  $KB_{TBox}$ ,  $KB_{ABox}$ , A, HB, C inklusive B - einer entscheidenden Person zur manuellen Ressourcenfreigabe. In beiden Fällen wird ein Ressourceneinsatz RE' (ggf. kein Ressourceneinsatz, dann ist RE' die leere Menge) im Informationssystem vorgenommen.

35

Fig.1 zeigt ein schematisches Diagramm zur Veranschaulichung der Zuweisung von Ressourcen an Wartungsaufträge unter Berücksichtigung unsicherer Ressourceninformationen.

Einem Abduktionsmechanismus 103 werden beschreibungslogische  
Vorschriften  $KB_{TBox}$  101 und verfügbare Ressourcen  $R$  sowie War-  
tungsaufträge in Form von Individuen, die axiomatisch als  
5  $KB_{ABox}$  102 beschrieben sind, bereitgestellt.

Der Abduktionsmechanismus 103 umfasst einen  
Hypothesenbildungsmechanismus HB 104, der über den Abdukti-  
onsmechanismus A Ressourcen  $R_H$  bestimmt gemäß  
10

$$A(KB_{TBox}, KB_{ABox}) \rightarrow R_H$$

und einem Selektionsmechanismus C 105 zuführt. Der Selekti-  
onsmechanismus C 105 bestimmt mittels der Selektionsvor-  
15 schrift SV die Ergebnismenge hypothetischer Ressourcen  $R_{SV}$   
gemäß

$$C(R_H, SV) \rightarrow R_{SV}.$$

20 Der Selektionsmechanismus C 105 umfasst einen  
Priorisierungsmechanismus B 106, der basierend auf den hypo-  
thetischen Ressourcen  $R_{SV}$  mittels der  
Priorisierungsvorschrift PV die Ressourceneinsatzpriorität  
 $R_{HP}$  bestimmt gemäß

25

$$B(R_{SV}, PV) \rightarrow R_{HP}.$$

Die Ressourceneinsatzpriorität  $R_{HP}$  wird einem Ressourcen-  
einsatzausführungsmechanismus E 107 zugeführt, der hieraus  
30 eine zusammenfassende Aufstellung der Ressourcen RE ermittelt  
und  $KB_{ABox}$  anpasst gemäß

$$E(KB_{TBox}, KB_{ABox}, R_{HP}) \rightarrow New\_KB_{ABox}$$

35

$$RE \subseteq New\_KB_{ABox}.$$

Der vorgestellte Ansatz verknüpft den bekannten Abduktionsme-  
chanismus ("abductive reasoning") mit der automatisierten Zu-

weisung von Ressourcen an Wartungsaufträge unter Berücksichtigung unsicherer Ressourceninformationen.

Das vorgestellte Konzept hat beispielsweise den Vorteil, dass  
5 eine Spezifikation der für die Wartung notwendigen Informationen anhand einer ontologischen Beschreibung erfolgen kann. Weiterhin ist es möglich, dass die Bildung und Verarbeitung von hypothetisch angenommenen Vorbedingungen für die anschließende Ableitung von Ressourcen auf Wartungsaufträge erfolgt. Dadurch können unsichere Informationen wie hypothetische Ressourceneigenschaften berücksichtigt werden, z.B. können für einen fest definierten Wartungsprozess alternativ  
10 einsetzbare Ressourcen (z.B. Wartungsingenieure mit nur teilweise passenden Fähigkeiten oder Materialien und Maschinen mit ähnlichen Eigenschaften) automatisiert eingeplant werden.  
15

Die vorgestellte Lösung ermöglicht die Erkennung von unterschiedlichen Ressourcen als potentiell einsetzbar, d.h. als für die Wartung in Frage kommend. Somit kann eine  
20 Priorisierung mit nachfolgender Selektion bestimmter Ressourcen aus dieser Menge durchgeführt werden mit dem Ziel einer wartungsübergreifenden Ressourcen- und Kostenoptimierung.

Die gemäß einer definierten Vorschrift selektierten Ressourcen können entweder automatisiert den Wartungsaufträgen zugewiesen oder einem verantwortlichen Mitarbeiter/in als Vorschlag zur Freigabe angezeigt werden. Diese automatisierte Zuweisung bzw. der ermittelte Vorschlag kann bereits die  
25 übergreifende Wartungsoptimierung in Abhängigkeit der tatsächlichen Ressourcenlage berücksichtigen.  
30

Die Lösung ist skalierbar und einfach zu warten. Dies ist durch die Anwendung formaler Spezifikationen (beschreibungslogischer Ontologien) und deren modellunabhängige, automatisierte Auswertung mittels logikbasierter Abduktionsverfahren  
35 gegeben.

Fig.2 zeigt ein schematisches Diagramm für ein Beispiel bei der Zuweisung eines Wartungsingenieurs für die Reparatur einer Pumpe, wobei der Wartungsingenieur nicht die laut TBox erforderliche Eigenschaft hat, dass er mit der Reparatur von Pumpen vertraut ist.

Die formale Definition findet sich in der  $KB_{TBox}$  101 und eine beispielhafte Initialisierung findet sich in der  $KB_{ABox}$  102. Mit anderen Worten stellt die  $KB_{TBox}$  101 beschreibungslogische Vorschriften eines Modells dar, für das eine konkrete beispielhafte mögliche Instanziierung in Form der  $KB_{ABox}$  102 angegeben wird. Eigenschaften werden dabei beschrieben in Form von binären Relationen zwischen zwei Klassen oder zwischen einer Klasse und einem Datentyp.

15

Zunächst werden die beschreibungslogischen Vorschriften  $KB_{TBox}$  101 erläutert:

Als Klassen sind in Fig.2 angegeben:

- 20 - ein Wartungsauftrag ("MaintenanceTask"),
- ein Zielsystem ("TargetSystem"),
- eine Pumpe ("Pump"),
- eine Fähigkeit ("Skill"),
- ein Ingenieur ("Engineer"),
- 25 - ein Pumpeningenieur ("PumpEngineer").

Als Eigenschaften ("Properties") sind in Fig.2 angegeben:

- Der Wartungsauftrag ist definiert als äquivalent zu allen Individuen von Klassen, die über eine Relation "refersToSystem" zu einer Klasse Zielsystem ("TargetSystem") abgebildet werden, d.h. die sich auf das Zielsystem beziehen. Damit ist das Individuum, das diese Relation "refersToSystem" erfüllt, ein Wartungsauftrag.
- 30
- 35 - Die Pumpe ist eine echte Teilmenge eines Zielsystems.
- Die Fähigkeit ist definiert als Kenntnisse in der Mechanik ("Mechanics"), Elektrotechnik

("ElectricalEngineering"), und/oder Hydraulik ("HydraulicsEngineering").

- Der Ingenieur ist definiert als äquivalent zu allen Individuen von Klassen, die über die Relation "knowsSystem" zu einer Klasse des Zielsystems abgebildet werden, d.h. die das Zielsystem kennen. Zusätzlich ist der Ingenieur definiert als äquivalent zu allen Individuen von Klassen, die über die Relation "repairsSystem" zu einer Klasse des Zielsystems abgebildet werden, also in der Lage sind, das Zielsystem zu reparieren.
- Der Pumpeningenieur ist eine echte Teilmenge des Ingenieurs. Damit ist er ein Ingenieur. Gleichzeitig muss der Pumpeningenieur die folgenden Fähigkeiten aufweisen (d.h. die Relationen "hasSkill" erfüllen):
  - Kenntnisse in der Mechanik,
  - Kenntnisse in der Elektrotechnik,
  - Kenntnisse in der Hydraulik.
- Außerdem soll für das Individuum Pumpeningenieur eine Relation "knowsSystem" erfüllt sein für die Pumpe, mit anderen Worten muss der Pumpeningenieur die Pumpe kennen.

Nachfolgend wird die  $KB_{ABOX}$  102 beschrieben, also die konkrete Instanziierung tatsächlich zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandener Komponenten und ihrer Beziehungen zueinander. Beispielfhaft gibt es in Fig.2 die folgenden Zuweisungen ("Assertions"):

- Das Individuum t1 ist ein Wartungsauftrag.
- Das Individuum p1 ist eine Pumpe.
- Die Relation "refersToSystem" gilt zwischen dem Wartungsauftrag t1 und der Pumpe p1, d.h. der konkrete Wartungsauftrag t1 wird auf das konkrete System Pumpe p1 mit der Relation "refersToSystem" abgebildet. Dies ist gemäß der Definition der TBox zulässig.
- Weiterhin sind die Fähigkeiten Mechanik s1, Elektrotechnik s2 und Hydraulik s3 definiert.

- Das Individuum e1 ist ein Ingenieur. Der Ingenieur e1 hat die Fähigkeiten s1, s2 und s3. Allerdings kennt der Ingenieur nicht die Pumpe p1.

5 Der Hypothesenbildungsmechanismus 104 geht hypothetisch davon aus, dass der Ingenieur e1 die Pumpe p1 kennen würde. Insofern liefert der Hypothesenbildungsmechanismus 104 den Ingenieur e1 als einen möglichen Kandidaten zur Reparatur der Pumpe p1, der von dem Selektionsmechanismus 105 als hypothetische Ressource  $R_{SV}$  ausgewählt wird. Von dem

10 Priorisierungsmechanismus 106 wird die zugehörige Ressourceneinsatzpriorität  $R_{HP}$  bestimmt, die hier beispielhaft einen Wert von 0,25 aufweist. Der Ressourceneinsatzausführungsmechanismus 107 setzt den Ingenieur e1 beispielhaft als Ressource in dem technischen System ein ( $R_{HS}$  bedeutet in diesem

15 Zusammenhang, dass der Ingenieur e1 die Pumpe p1 kennt: e1 knowsSystem p1"). Insbesondere kann so eine Auswahl der am besten passendsten Ressource aus einer Vielzahl an Ressourcen getroffen werden.

20

Fig.3 zeigt ein schematisches Diagramm für ein anderes Beispiel bei der Zuweisung eines Ersatzteils für die Reparatur einer Pumpe, obwohl das Ersatzteil ein anderes Material aufweist als für den Wartungsprozess vorgesehen ist.

25

Zunächst werden die beschreibungslogischen Vorschriften  $KB_{TBox}$  101 erläutert:

Als Klassen sind in Fig.3 angegeben:

30

- ein Wartungsauftrag ("MaintenanceTask"),
- ein Zielsystem ("TargetSystem"),
- eine Pumpe ("Pump"),
- ein Ersatzteil ("SparePart"),
- ein Pumpenersatzteil ("PumpSparePart").

35

Als Eigenschaften ("Properties") sind in Fig.3 angegeben:

- Der Wartungsauftrag ist definiert als äquivalent zu allen Individuen von Klassen, die über eine Relation

"refersToSystem" zu einer Klasse Zielsystem ("TargetSystem") abgebildet werden. Damit ist das Individuum, das diese Relation "refersToSystem" erfüllt, ein Wartungsauftrag.

- 5 - Die Pumpe ist eine echte Teilmenge eines Zielsystems.
- Das Ersatzteil ist die Menge aller Individuen, die über die Relation "replacesPartIn" auf ein Individuum der Klasse Zielsystem abgebildet werden.
- Das Pumpenersatzteil ist eine echte Teilmenge des Ersatzteils. Damit ist es ein Ersatzteil. Gleichzeitig muss das Pumpenersatzteil die Bedingung erfüllen, dass es mindestens eine Relation "hasApproval" erfüllt (d.h. eine (technische) Zulassung in dem Beispiel hat - angedeutet durch den Wert "TRUE") und
- 10 dass dieses Individuum gleichzeitig eine Relation "hasMaterial" erfüllt, die auf einen Datentyp abbildet, wobei der Wert des Datentyps "Aluminium" ist. Mit anderen Worten soll das Pumpenersatzteil ein Ersatzteil sein, das ein zulässiges Ersatzteil ist und
- 15 das aus Aluminium besteht.
- 20

Nachfolgend wird die  $KB_{\text{ABox}}$  102 beschrieben, also die konkrete Instanziierung tatsächlich zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandener Komponenten und ihrer Beziehungen zueinander. Beispielhaft gibt es in Fig.3 die folgenden Zuweisungen ("Assertions"):

- Das Individuum t1 ist ein Wartungsauftrag.
- Das Individuum p1 ist eine Pumpe.
- Die Relation "refersToSystem" gilt zwischen dem Wartungsauftrag t1 und der Pumpe p1, d.h. der Wartungsauftrag t1 wird auf das System Pumpe p1 mit der Relation "refersToSystem" abgebildet. Dies ist gemäß der Definition der TBox zulässig.
- 30
- Das Individuum s1 ist ein Ersatzteil. Das Ersatzteil s1 hat eine Genehmigung "hasApproval". Weiterhin hat das Ersatzteil s1 eine Relation "hasMaterial", die auf einen Datentyp abbildet, dessen Wert rostfreier Stahl ("StainlessSteel") ist. Diese letzte Relation
- 35

ist nicht mit der Definition der TBox vereinbar, gemäß der das Material der Pumpe Aluminium sein muss.

Der Hypothesenbildungsmechanismus 104 geht hypothetisch davon aus, dass die als Ersatzteil verfügbare Pumpe aus Aluminium besteht, obwohl sie tatsächlich aus rostfreiem Stahl besteht. Insofern liefert der Hypothesenbildungsmechanismus 104 die Pumpe s1 als ein potenzielles Ersatzteil, die von dem Selektionsmechanismus 105 als hypothetische Ressource  $R_{SV}$  ausgewählt wird. Von dem Priorisierungsmechanismus 106 wird die zugehörige Ressourceneinsatzpriorität  $R_{HP}$  bestimmt, die hier beispielhaft einen Wert von 0,75 aufweist. Der Ressourceneinsatzausführungsmechanismus 107 setzt die Pumpe s1 beispielhaft als Ressource in dem technischen System ein ( $R_{HS}$  bezeichnet in diesem Fall, dass die Pumpe s1 die Materialeigenschaft Aluminium aufweist: `s1.hasMaterial.value "Aluminium"`). Insbesondere kann so eine Auswahl der am besten passendsten Ressource aus einer Vielzahl an Ressourcen getroffen werden (im Beispiel ist nur der Fall für die Ressource s1 dargestellt).

Es wird vorgeschlagen, eine Ressource, die ggf. für einen Wartungsauftrag eines technischen Systems verwendbar sein könnte, auch dann zu berücksichtigen und deren möglichen Einsatz zu überprüfen, wenn sie nicht alle Bedingungen erfüllt, die gemäß einer Modellbeschreibung der Ressource erforderlich wären. So kann automatisiert und effizient ein Kompromiss gefunden werden für eine Ressource, die der gesuchten Ressource am nächsten kommt, d.h. möglichst gut passt. Die Erfindung kann beispielsweise für Wartungsaufträge großer und komplexer technischer Systeme, z.B. in der Automatisierungs- oder Fertigungstechnik, eingesetzt werden.

Obwohl die Erfindung im Detail durch das mindestens eine gezeigte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht darauf eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Eignung einer Ressource in einem technischen System,
  - 5 - bei dem mindestens eine Ressource bestimmt wird, die mindestens eine Bedingung eines Modells verletzt (104),
  - bei dem die Eignung der mindestens einen Ressource bestimmt wird (106),
  - 10 - bei dem das Modell beschreibungslogische Vorschriften einer Wissensbasis sowie ein instanziiertes technisches System insbesondere in Form einer Ontologie umfasst.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Ressource zugewiesen oder eingesetzt wird (107), sofern die Eignung einem vorbestimmten Kriterium entspricht.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die mindestens eine Ressource die mindestens eine Bedingung des Modells verletzt, wenn die mindestens eine Ressource mindestens eine zusätzliche, geänderte oder reduzierte Eigenschaft aufweist.
- 20 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Eignung der Ressource bestimmt wird anhand vorbestimmter Daten betreffend die Eigenschaften für die Ressource.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Eignung der Ressource mittels eines Abduktionsmechanismus bestimmt wird, indem hypothetisch in Frage kommende Ressourcen auf ihre Eignung geprüft werden.
- 30 6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die in Frage kommenden Ressourcen priorisiert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die priorisierten Ressourcen angezeigt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, bei dem die  
5 am höchsten priorisierte Ressource eingesetzt oder zugewiesen wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Ressource im Rahmen eines Wartungsauftrags für  
10 ein technisches System zugewiesen oder eingesetzt wird.
10. Vorrichtung zur Bestimmung der Eignung einer Ressource in einem technischen System mit einer Verarbeitungseinheit, die derart eingerichtet ist, dass  
15
  - mindestens eine Ressource bestimmbar ist, die mindestens eine Bedingung eines Modells verletzt,
  - die Eignung der mindestens einen Ressource bestimmbar ist,
  - das Modell beschreibungslogische Vorschriften einer Wissensbasis sowie ein instanziiertes technisches  
20 System insbesondere in Form einer Ontologie umfasst.
11. Computerprogrammprodukt, das direkt in einen Speicher eines digitalen Computers ladbar ist, umfassend Programmcodeteile, die dazu geeignet sind, die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchzuführen.  
25
12. Computerlesbares Speichermedium umfassend von einem Computer ausführbare Anweisungen, die dazu geeignet sind, dass der Computer Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchführt.  
30
- 35

FIG 1

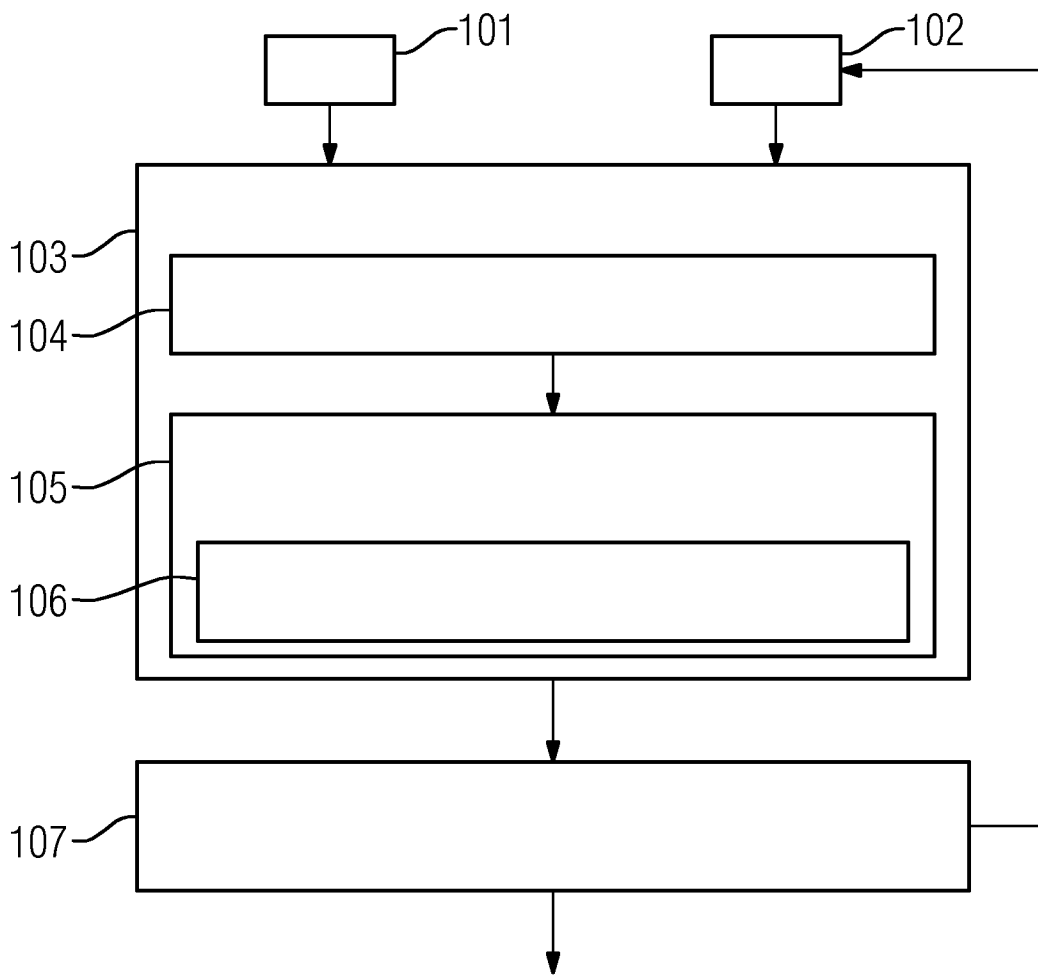


FIG 2

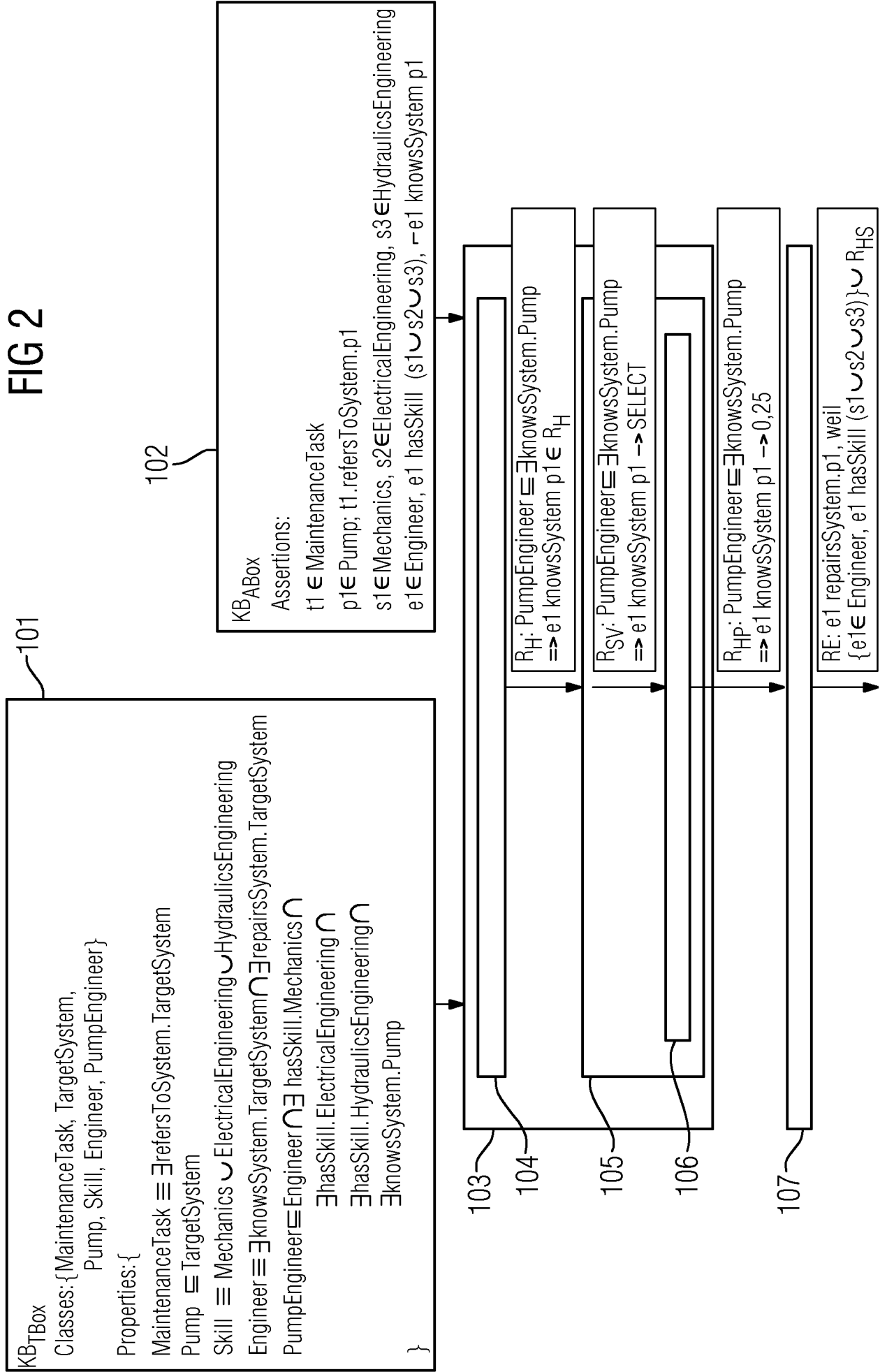


FIG 3

