



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 213 605.5**

(22) Anmeldetag: **14.12.2022**

(43) Offenlegungstag: **29.06.2023**

(51) Int Cl.: **G07C 3/00 (2006.01)**

**G01M 13/00 (2019.01)**

(30) Unionspriorität:  
**202111588573.7 23.12.2021 CN**

(71) Anmelder:  
**Aktiebolaget SKF, Göteborg, SE**

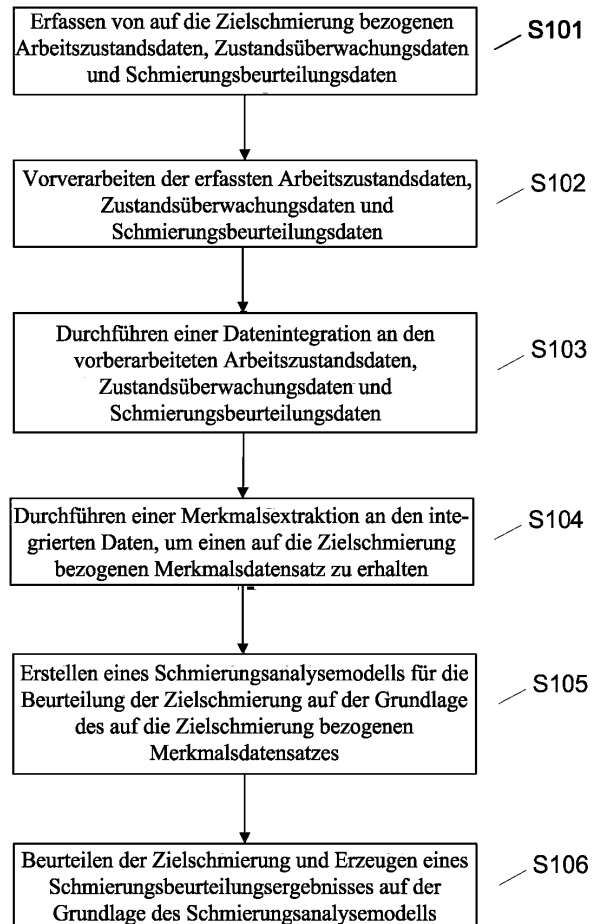
(74) Vertreter:  
**Kohl, Thomas, Dipl.-Ing. Univ., 97421 Schweinfurt,  
DE**

(72) Erfinder:  
**Zhang, Kaihuan, Hangzhou, CN; Cheng, Gang,  
Shanghai, CN**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren, System und Medium zur Schmierungsbeurteilung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Offenbarung stellt ein Verfahren, ein System und ein computerlesbares Speichermedium zur Schmierungsbeurteilung bereit. Das Verfahren umfasst: Erfassen von auf die Zielschmierung bezogenen Arbeitszustandsdaten, auf die Zielschmierung bezogenen Zustandsüberwachungsdaten und auf die Zielschmierung bezogenen Schmierungsbeurteilungsdaten; Vorverarbeiten der erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten; Durchführen einer Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten, um einen integrierten Datensatz zu erhalten; Durchführen einer Merkmalsextraktion an Daten in dem integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um einen auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten; Erstellen eines Schmierungsanalysemodells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes; und Beurteilen der Zielschmierung und Erzeugen eines Schmierungsbeurteilungsergebnisses auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf ein Gebiet des Schmierungsmanagements und insbesondere auf ein Verfahren, ein System und ein Medium zur Schmierungsbeurteilung.

## HINTERGRUND

**[0002]** Das Schmierungsmanagement erstreckt sich über den gesamten Lebenszyklus einer Vorrichtung, so dass es notwendig ist, einen Schmierungszustand der Vorrichtung zu detektieren und zu beurteilen. Gegenwärtig konzentriert sich die Schmierungserkennung und -beurteilung hauptsächlich auf zwei Aspekte. Zum einen konzentriert sie sich auf physikalisch-chemische Eigenschaften wie Zusammensetzung, Viskosität, Konsistenz und Verschmutzung des Schmiermittels. Andererseits konzentriert sie sich auf die Feldanwendung. Die Detektion und Analyse der physikalisch-chemischen Eigenschaften eines Schmiermittels beruht immer auf der Entnahme von Proben des Schmiermittels und deren Einsendung an ein Labor zur Analyse, wie z. B. eine Inhaltsanalyse, eine Infrarot-Thermografie-Analyse und eine Ölanalyse im Labor. Bei Feldanwendungen vor Ort ist eine gleichmäßige Inspektion vor Ort mit einer speziellen Vorrichtung erforderlich. Beide Verfahren sind invasiv (z. B. müssen Vorrichtungen zerlegt werden, um Schmierstellen für die Vorrichtungen zu finden und Schmiermittel an den Schmierstellen als Probe zu entnehmen) und werden offline analysiert (z. B. muss das als Probe entnommene Schmiermittel ins Labor geschickt werden) und sind daher nicht zeitnah.

**[0003]** Obwohl in letzter Zeit einige Online-Verfahren zur Schmierungsdetektion und -beurteilung aufgefunden sind, wie z. B. eine Ölfilmanalyse, eine Infrarot-Thermografie-Analyse und sogar eine Ultraschallanalyse, erfordern diese Verfahren in der Regel spezielle und komplexe Vorrichtungen und Systeme, die vor Ort nur schwer eingesetzt werden können. Darüber hinaus zielen die meisten dieser Verfahren nur auf einen einzigen Schmierungsindikator ab, der nicht ausreicht, um den gesamten und umfassenden Zustand der Schmierung der Vorrichtung zu erfassen.

**[0004]** Daher ist es notwendig, eine nicht-invasive, zeitnahe, umfassende und mehrdimensionale Technologie zur Schmierungsdetektion und -beurteilung zu entwickeln.

## ZUSAMMENFASSUNG DER OFFENBARUNG

**[0005]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird ein Verfahren zur Schmierungsbe-

urteilung bereitgestellt. Das Verfahren umfasst: Erfassen von auf die Zielschmierung bezogenen Arbeitszustandsdaten, auf die Zielschmierung bezogenen Zustandsüberwachungsdaten und auf die Zielschmierung bezogenen Schmierungsbeurteilungsdaten; Vorverarbeiten der erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, vorverarbeitete Zustandsüberwachungsdaten und vorverarbeitete Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten; Durchführen einer Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten, um einen integrierten Datensatz zu erhalten; Durchführen einer Merkmalsextraktion an Daten in dem integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um einen auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten; Erstellen eines Schmierungsanalysemodells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes; und Beurteilen der Zielschmierung und Erzeugen eines Schmierungsbeurteilungsergebnisses auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells.

**[0006]** In einigen Ausführungsformen kann das Durchführen der Merkmalsextraktion an Daten in dem integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um den auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten, Folgendes umfassen: Extrahieren von Merkmalen der Arbeitszustandsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Arbeitszustandsmerkmale zu erhalten; Extrahieren von Merkmalen der Zustandsüberwachungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Zustandsüberwachungsmerkmale zu erhalten; Extrahieren von Merkmalen der Schmierungsbeurteilungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Schmierungsbeurteilungsmerkmale zu erhalten; Erhalten des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale.

**[0007]** In einigen Ausführungsformen kann das Erhalten des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale Folgendes beinhalten: Erhalten von fusionierten Merkmalsdaten durch Merkmalsfusionsverarbeitung auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungs-

merkmale, und Erzeugen des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der fusionierten Merkmalsdaten.

**[0008]** In einigen Ausführungsformen kann das Erstellen des Schmierungsanalysemodells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes, Folgendes umfassen: Erstellen eines Schmierungsanomaliedetektionsmodells zum Detektieren einer Schmierungsanomalie auf der Grundlage des Merkmalsdatensatzes, der sich auf die Schmierung bezieht; Erstellen eines Schmierfehlermodusklassifizierungsmodells auf der Grundlage des Merkmalsdatensatzes, der sich auf die Schmierung bezieht; Erstellen eines Schmierstandklassifizierungsmodells auf der Grundlage des Merkmalsdatensatzes, der sich auf die Schmierung bezieht; und Erstellen eines Schmierungsindikatorvorhersagemodells auf der Grundlage des Merkmalsdatensatzes, der sich auf die Schmierung bezieht.

**[0009]** In einigen Ausführungsformen umfasst das Beurteilen der Schmierung und das Erzeugen eines Schmierungsbeurteilungsergebnisses auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells: Detektieren von Schmierungsanomalien und Erzeugen eines Schmierungsanomaliedetektionsergebnisses auf der Grundlage von Ausgaben des Schmierungsanomaliedetektionsmodells; Klassifizieren von Schmierfehlermodi und Erzeugen eines Schmierfehlermodusklassifizierungsergebnisses auf der Grundlage von Ausgaben des Schmierfehlermodusklassifizierungsmodells; Klassifizieren von Schmierständen und Erzeugen eines Schmierstandklassifizierungsergebnisses auf der Grundlage von Ausgaben des Schmierstandklassifizierungsmodells; Vorhersage von Schmierungsindikatoren und Erzeugen eines Schmierungsindikatorvorhersageergebnisses auf der Grundlage des Schmierungsindikatorvorhersagemodells; und Erzeugen eines Schmierungsgesundheitsbeurteilungsergebnisses auf der Grundlage von zumindest einem des Schmierungsanomaliedetektionsergebnisses, des Schmierfehlermodusklassifizierungsergebnisses, des Schmierstandklassifizierungsergebnisses und des Schmierungsindikatorvorhersageergebnisses.

**[0010]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Vorverarbeitung der erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten zumindest eine Daten-Deduplizierungsverarbeitung, eine Daten-Entrauschungsverarbeitung, eine Daten-Codierungsverarbeitung und eine Daten-Filterungsverarbeitung.

**[0011]** In einigen Ausführungsformen umfasst das Durchführen der Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten

Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten: Durchführen von zumindest einer von Synchronisations-, Ausrichtungs- und Korrekturverarbeitung an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten.

**[0012]** In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren ferner die Optimierung der Zielschmierung auf der Grundlage des Schmierungsbeurteilungsergebnisses.

**[0013]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird ein Schmierungsbeurteilungssystem bereitgestellt. Das System umfasst einen Datensammler und einen Prozessor, der mit dem Datensammler verbunden ist. Der Datensammler kann dazu ausgebildet sein, auf die Zielschmierung bezogene Arbeitszustandsdaten, auf die Zielschmierung bezogene Zustandsüberwachungsdaten und auf die Zielschmierung bezogene Schmierungsbeurteilungsdaten zu erfassen. Der Prozessor kann dazu ausgebildet sein: die erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten vorzuverarbeiten, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, vorverarbeitete Zustandsüberwachungsdaten und vorverarbeitete Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten; eine Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten durchzuführen, um einen integrierten Datensatz zu erhalten; eine Merkmalsextraktion an Daten in dem integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes durchzuführen, um einen auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten; ein Schmierungsanalysemodell zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes zu erstellen; und die Zielschmierung zu beurteilen und ein Schmierungsbeurteilungsergebnis auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells zu erzeugen.

**[0014]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird ein computerlesbares Speichermedium mit darauf gespeicherten Befehlen bereitgestellt, und die Befehle werden von einem Computer ausgeführt, um das obige Schmierungsbeurteilungsverfahren durchzuführen.

**[0015]** Das Schmierungsbeurteilungsverfahren, das System und das computerlesbare Medium der vorliegenden Offenbarung können die Nutzung und Fusion von Multisignal-, Multi-Arbeitszustands- und mehrdimensionalen Daten in Bezug auf die Schmierung realisieren, umfassendere Merkmale in Bezug auf

die Schmierung extrahieren und daher effektivere Korrelationsmodelle zwischen den Zielen (oder Prozesszuständen), auf die eine Schmierung angewendet wird, und den Schmiermittelzuständen erstellen, wodurch empfindlichere und genauere Indikatoren erhalten werden, um schließlich verschiedene Bedingungen und Zustände in Bezug auf die Schmierung online und quantitativ zu reflektieren und zu beurteilen.

**[0016]** Darüber hinaus können das Schmierungsbeurteilungsverfahren, das System und das computerlesbare Medium der vorliegenden Offenbarung bestehende Schmierungsinspektions- und -beurteilungsverfahren aus einer nicht-invasiven, zeitnahen und quantitativen Perspektive bereichern und verbessern. Mit dem Verfahren, dem System und dem computerlesbaren Medium der vorliegenden Offenbarung können Schmierungsprobleme rechtzeitig entdeckt werden, Schmierfehlermodi und -schweregrade können online klassifiziert und eingestuft werden, die Schmierleistung kann im Voraus vorhergesagt werden und die Prozessparameter können in Echtzeit optimiert werden. Darüber hinaus können mit dem Verfahren, dem System und dem computerlesbaren Medium der vorliegenden Offenbarung objektivere, quantitativere und zeitnahe Indikatoren für die Beurteilung und Kontrolle der Schmierleistung erhalten werden, und es können sogar umfassendere Schmierleistungsstandards ausgegeben werden.

**[0017]** Darüber hinaus ist es durch den Einsatz des Verfahrens, des Systems und des computerlesbaren Mediums der vorliegenden Offenbarung möglich, den Schmierprozess, -zustand und -leistung in einem kontinuierlichen geschlossenen Kreislauf zu überwachen, zu beurteilen, zu steuern und zu optimieren, wodurch die Fähigkeiten zur Schmierungsbeurteilung, -steuerung und -lösung erheblich verbessert werden. Durch die Verarbeitung und Modellierung erfasster Daten auf der Grundlage von großen Datenmengen oder maschinellen Lernens ist es möglich, die Beurteilung und Optimierung der Schmierung auf digitalisierte und intelligente Weise zu unterstützen.

#### Figurenliste

**[0018]** Das System kann mit Bezug auf die folgende Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen besser verstanden werden. Die Komponenten in den Zeichnungen sind nicht maßstabgetreu, sondern dienen vor allem der Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Offenbarung. Außerdem stellen in den Zeichnungen gleiche oder identische Bezugsziffern gleiche oder identische Elemente dar.

**Fig. 1** zeigt schematisch ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Schmierungsbeurteilung

gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 2** zeigt schematisch ein modulares Rahmendiagramm eines Verfahrens oder Systems zur Beurteilung, Entscheidungsfindung und Optimierung der Schmierung gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 3** zeigt schematisch ein beispielhaftes Verlaufdiagramm des Schmierungsanomaliegrades gemäß dem Verfahren und System der vorliegenden Offenbarung, das Anomaliegradverlaufdiagramme von vier Schmierungsanomalie-Indikatoren enthält.

**Fig. 4** zeigt schematisch eine Konfusionsmatrix der Ergebnisse der Schmierfehlermodusklassifizierung in einem Schmierungsbeurteilungsprozess während der Prüfung des Verfahrens und Systems der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 5** zeigt schematisch eine Konfusionsmatrix der Ergebnisse der Schmierstandklassifizierung in einem Schmierungsbeurteilungsprozess während der Prüfung des Verfahrens und Systems der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 6** zeigt schematisch die vorhergesagten Ergebnisse eines Schmierungsindikators in einem Schmierungsbeurteilungsprozess während der Prüfung des Verfahrens und Systems der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 7** ist ein schematisches Diagramm der Anpassungs- und Regressionsleistung der Schmierungsindikatorvorhersage aus **Fig. 6**.

**Fig. 8** zeigt schematisch ein Radardiagramm einer beispielhaften Schmierungsgesundheitsbeurteilung auf der Grundlage von Teilergebnissen der Zustandsbeurteilung, die unter Verwendung des Verfahrens und des Schmierungsbeurteilungssystems gemäß der vorliegenden Offenbarung erhalten wurden.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0019]** Es sollte verstanden werden, dass die folgende Beschreibung von Ausführungsformen nur der Veranschaulichung dient und keine Einschränkung darstellt. Die in den Zeichnungen dargestellte beispielhafte Aufteilung von Funktionsblöcken, Modulen oder Einheiten ist nicht so zu verstehen, dass diese Funktionsblöcke, Module oder Einheiten als physisch getrennte Einheiten implementiert werden müssen. Die dargestellten oder beschriebenen Funktionsblöcke, Module oder Einheiten können als separate Einheiten, Schaltungen, Chips, Funktionen, Module oder Schaltungselemente implementiert werden. Ein oder mehrere Funktionsblöcke oder Einheiten können auch in einem gemeinsamen Schaltkreis,

Chip, Schaltungselement oder einer gemeinsamen Einheit implementiert sein.

**[0020]** Obwohl die vorliegende Offenbarung verschiedene Verweise auf bestimmte Module in einem System gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung herstellt, kann eine beliebige Anzahl verschiedener Module verwendet werden und auf Benutzerterminals und/oder Servern laufen. Die Module dienen lediglich der Veranschaulichung, und verschiedene Aspekte des Systems und des Verfahrens können unterschiedliche Module verwenden.

**[0021]** In der vorliegenden Offenbarung werden Flussdiagramme verwendet, um Vorgänge zu veranschaulichen, die von einem System gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung ausgeführt werden. Es sollte verstanden werden, dass vorangehende oder nachfolgende Vorgänge nicht unbedingt in exakter Reihenfolge ausgeführt werden. Vielmehr können verschiedene Schritte je nach Wunsch in umgekehrter Reihenfolge oder gleichzeitig ausgeführt werden. Gleichzeitig können diesen Abläufen weitere Vorgänge hinzugefügt oder ein Schritt oder Schritte aus diesen Abläufen entfernt werden.

**[0022]** Es sollte verstanden werden, dass ein zu schmierendes Objekt in der vorliegenden Offenbarung ein beliebiges mechanisches System, eine mechanische Vorrichtung oder eine mechanische Komponente usw. sein kann, die eine Schmierung erfordert. Darüber hinaus kann die Schmierung auch mit einem Ort verbunden sein, an dem die Schmierung durchgeführt wird (d.h. der Ort der Schmierstelle). Der Ort der Schmierstelle kann gemäß den tatsächlichen Gegebenheiten des tatsächlichen mechanischen Systems, der mechanischen Vorrichtung, der mechanischen Komponente oder den tatsächlichen Anforderungen ausgewählt werden. Die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind nicht auf bestimmte Schmierobjekte oder Orte, an denen die Schmierung durchgeführt wird, beschränkt. Die Schmierungsbeurteilung, die durch das Schmierungsbeurteilungsverfahren der vorliegenden Offenbarung erhalten wird, kann eine Schmierzustandsbeurteilung eines beliebigen Schmierobjekts sein, wie z. B. eines mechanischen Systems, einer mechanischen Vorrichtung, einer mechanischen Komponente und dergleichen, und kann auch eine Schmierzustandsbeurteilung an einem beliebigen Ort eines Schmierobjekts sein, an dem die Schmierung durchgeführt wird. Zielschmierung in der vorliegenden Offenbarung bezieht sich auf die zu beurteilende Schmierung, die die Schmierung für jedes beliebige mechanische System, jede beliebige mechanische Vorrichtung und jede beliebige mechanische Komponente sowie die Schmie-

rung für jede Schmierstelle innerhalb dieser Schmierobjekte umfassen kann.

**[0023]** Fig. 1 zeigt schematisch ein Flussdiagramm eines Verfahrens zur Schmierungsbeurteilung gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen eines Aspekts der vorliegenden Offenbarung.

**[0024]** Bezugnehmend auf Fig. 1 werden in S101 auf die Zielschmierung bezogene Arbeitszustandsdaten, auf die Zielschmierung bezogene Zustandsüberwachungsdaten und auf die Zielschmierung bezogene Schmierungsbeurteilungsdaten gesammelt.

**[0025]** Die Arbeitszustandsdaten können hauptsächlich Daten enthalten, die einen Echtzeit-Arbeitszustand eines schmierenden Objekts widerspiegeln, das die Schmierung stark beeinflusst. Beispielsweise können die Arbeitszustandsdaten Daten enthalten, die sich auf Folgendes beziehen: eine Komponentendrehzahl an der Schmierstelle, eine Last der Komponente an der Schmierstelle, eine Umgebungstemperatur an der Schmierstelle, eine Umgebungsfeuchtigkeit an der Schmierstelle, eine Umgebungspartikelkonzentration an der Schmierstelle, einen Typ einer Komponente an der Schmierstelle, Parameter der Komponente an der Schmierstelle, einen Schmierungstyp, einen Reibungstyp und dergleichen. Es sollte beachtet werden, dass die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht durch die spezifischen Inhalte und Arten der oben genannten Arbeitszustandsdaten beschränkt sind. In praktischen Anwendungen können die zu erfassenden Arbeitszustandsdaten auch gemäß den tatsächlichen Anforderungen und tatsächlichen Anwendungsszenarien bestimmt werden.

**[0026]** Bei den Zustandsüberwachungsdaten kann es sich um Daten handeln, die einen Zustand an der Zielschmierstelle widerspiegeln. Die Zustandsüberwachungsdaten können zum Beispiel Daten über eine Schwingung, eine Temperatur usw. an der Zielschmierstelle enthalten. Genauer gesagt können die Zustandsüberwachungsdaten Daten über das Folgende enthalten, die sich auf die Schmierstelle beziehen: eine Echtzeit-Schwingung, eine Temperatur, einen Eisenpartikelgehalt, einen Feuchtigkeitsgehalt und ähnliches. Es ist zu beachten, dass die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht durch die spezifischen Inhalte und Arten der oben genannten Zustandsüberwachungsdaten beschränkt sind. In praktischen Anwendungen können die zu erfassenden Zustandsüberwachungsdaten auch gemäß den tatsächlichen Anforderungen und tatsächlichen Anwendungsszenarien bestimmt werden.

**[0027]** Bei den Schmierungsbeurteilungsdaten kann es sich um historische Daten zur Schmierung han-

deln, die durch Probenahme und Inspektion der Schmierung erhalten werden. Die Schmierungsbeurteilungsdaten können beispielsweise durch manuelle Protokollierung, Probeninspektion und Laboranalyse erfasst und aufgezeichnet werden. Die Schmierungsbeurteilungsdaten können beispielsweise Daten zu Folgendem enthalten: Schmierungsstatus, Schmiermittelmenge, Schmiermittelqualität, Schmiermittelsauberkeit, Schmiermittelviskosität, Schmiermittelschichtdicke, Sauberkeit, Oberflächenbeschaffenheit und dergleichen.

**[0028]** Darüber hinaus können die spezifischen Quellen und Erfassungsverfahren der schmierbezogenen Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten in der vorliegenden Offenbarung unterschiedlich sein. Beispielsweise können die Zielarbeitszustandsdaten in Bezug auf die Schmierung direkt von einem Steuerungssystem, einem Arbeitssystem oder anderen extern angeschlossenen Systemen oder Servern (wie einem Datenerfassungs- und Überwachungssystem) für das Schmierobjekt gemäß einer vorgegebenen Abtastfrequenz erhalten werden, oder sie können auch aus anderen Quellen oder auf andere Weise erhalten werden. Beispielsweise können die Zustandsüberwachungsdaten in Bezug auf die Schmierung in einer vorgegebenen Abtastfrequenz von verschiedenen Sensoren erfasst werden, die auf dem Schmierobjekt oder um das Schmierobjekt herum oder um die Schmierstelle herum angeordnet sind. Beispielsweise können historische Schmierungsbeurteilungsdaten vom Steuerungssystem, dem Arbeitssystem oder anderen extern angeschlossenen Systemen gesammelt werden. Die Schmierungsbeurteilungsdaten können auch durch manuelle Aufzeichnung, Probeninspektion und Laboranalyse gemäß den tatsächlichen Anforderungen erhalten werden, und die erhaltenen Beurteilungsdaten können als historische Schmierungsbeurteilungsdaten verwendet werden. Es sollte auch anerkannt werden, dass die schmierbezogenen Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten der vorliegenden Offenbarung auch durch andere Mittel erhalten werden können. Die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind nicht durch ihre spezifischen Quellen und die Art und Weise, wie sie erhalten werden, beschränkt.

**[0029]** In S102 können die erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten vorverarbeitet werden, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, vorverarbeitete Zustandsüberwachungsdaten und vorverarbeitete Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten.

**[0030]** Der Prozess der Vorverarbeitung der oben erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwa-

chungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten kann die Verarbeitung der Daten unter Verwendung verschiedener Algorithmen gemäß den Eigenschaften der Daten umfassen, um aktuell erforderliche gültige Daten herauszufiltern, ungültige Daten zu reduzieren und zu unterdrücken und die Datenqualität zu verbessern. In einigen Ausführungsformen kann die Vorverarbeitung der Arbeitszustandsdaten, der Zustandsüberwachungsdaten und der Schmierungsbeurteilungsdaten zumindest eine Daten-Deduplizierungsverarbeitung, eine Daten-Entrauschungsverarbeitung, eine Daten-Codierungsverarbeitung oder eine Daten-Filterungsverarbeitung gemäß den Eigenschaften der Daten umfassen.

**[0031]** Die Daten-Deduplizierungsverarbeitung dient dazu, doppelte Daten zu entfernen. Beispielsweise können doppelte Daten auf der Grundlage von Daten wie Zeitstempeln, Prozessnummern und Ähnlichem abgerufen und entfernt werden.

**[0032]** Die Datenentrauschungsverarbeitung dient dazu, Ausreißer in den Daten zu entfernen und eine Optimierung der Daten zu erreichen. Beispielsweise können Verfahren wie abstands-basierte Detektion, statistikbasierte Detektion, verteilungsbasierte Ausreißerdetektion, Dichtecenter-Detektion, Boxplot-Detektion und Ähnliches verwendet werden, um eine Entrauschung von Signalen durchzuführen, um Ausreißer in den Daten zu entfernen.

**[0033]** Die Datenkodierungsverarbeitung dient dazu, verschiedene Kodierungsschemata zu verwenden, um Datenformate nach Bedarf zu verarbeiten, um kodierte Daten zu erhalten. So kann beispielsweise gemäß der Modellierung, Analyse und Beurteilung ein erforderliches Ziel-Datenformat bestimmt werden, und die Daten können auf der Grundlage des Ziel-Datenformats entsprechend kodiert werden, um die anschließende Verarbeitung zu erleichtern.

**[0034]** Die Datenfilterung dient dazu, Rauschen in den Daten zu erkennen und zu entfernen und den Kontrast der gültigen Merkmalsinformationen in den Daten zu verbessern. Die Datenfilterung kann z. B. mit einem gewichteten Durchschnittsfilter, einem Medianfilter, einem Gauß-Filter, einem Wiener-Filter und anderen Verfahren durchgeführt werden.

**[0035]** Die obigen Ausführungen sind nur ein Beispiel für mehrere spezifische Verarbeitungsverfahren, die die Vorverarbeitung umfassen kann. Es sei darauf hingewiesen, dass gemäß den tatsächlichen Anforderungen auch andere Vorverarbeitungsverfahren ausgewählt werden können. Darüber hinaus können gemäß den Eigenschaften der Daten eine oder mehrere der oben erwähnten Vorverarbeitungsverfahren ausgewählt werden, um die Vorverarbeitung der Daten durchzuführen.

**[0036]** In einem Beispiel für die Vorverarbeitung der Arbeitszustandsdaten können für Daten über die Drehzahl einer Komponente an der Schmierstelle, die Last der Komponente an der Schmierstelle, die Umgebungstemperatur an der Schmierstelle, die Umgebungfeuchtigkeit an der Schmierstelle und die Partikelkonzentration in der Umgebung an der Schmierstelle Ausreißer unter Verwendung eines dynamischen Boxplots herausgefiltert werden. Die Daten über den Typ der Komponente an der Schmierstelle, die Parameter der Komponente an der Schmierstelle, die Art der Schmierung und die Art der Reibung sind allesamt ungeordnete diskrete Variablen, so dass an diesen Daten ein diskretisiertes Kodierungsverfahren mit Dummy-Variablen durchgeführt werden kann.

**[0037]** In einem Beispiel für die Vorverarbeitung der Zustandsüberwachungsdaten wird für die Schwingungsdaten das Hüllkurvenspektrum im Hochfrequenzband genommen, und für die Temperatur-, Eisen- und Wassergehaltsdaten wird eine glatte Filterung durchgeführt.

**[0038]** In einem Beispiel für die Vorverarbeitung der Zustandsüberwachungsdaten wird eine Kodierung von Dummy-Variablen für diskrete Daten in den Schmierungsbeurteilungsdaten durchgeführt; und für kontinuierliche Daten können Ausreißer nach dem 3-Sigma-Prinzip extrahiert werden.

**[0039]** Beispielsweise können die vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, die vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und die vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten gemäß den oben genannten Datenkategorien jeweils als unterschiedliche Daten-Teilsätze erfasst werden, beispielsweise als Daten-Teilsätze  $D_{cond}$ ,  $D_{como}$ ,  $D_{lub}$ .

**[0040]** In S103 kann die Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten durchgeführt werden, um einen integrierten Datensatz zu erhalten.

**[0041]** In einigen Ausführungsformen kann das Durchführen der Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten, um einen integrierten Datensatz zu erhalten, Folgendes umfassen: Durchführen von zumindest einer Synchronisierungs-, Ausrichtungs- und Datenkorrekturverarbeitung an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten historischen Schmierungsbeurteilungsdaten.

**[0042]** Beispielsweise kann die Synchronisierung, Ausrichtung und Korrektur der vorverarbeiteten Multiquellen-Daten  $D_{cand}$ ,  $D_{como}$ ,  $D_{lub}$  durch die Verwendung von mehreren Algorithmen wie Interpolations- und Übersetzungsalgorithmen auf der Grundlage von einer Standardtaktquelle abgeschlossen werden, und dann erhält man einen vollständigen Datensatz  $D$  für die Überwachung, Beurteilung und Optimierung der Schmierung.

**[0043]** Insbesondere, wenn die Arbeitszustandsdaten, die Zustandsüberwachungsdaten und die Schmierungsbeurteilungsdaten, die sich auf die Zielschmierung beziehen, durch periodische Abtastungen erfasst werden, haben die erfassten Arbeitszustandsdaten, die Zustandsüberwachungsdaten und die Schmierungsbeurteilungsdaten aufgrund unterschiedlicher ausgewählter Abtastfrequenzen und unterschiedlicher Startzeitpunkte des Abtastprozesses zum Beispiel unterschiedliche Startpunkte auf der Zeitachse und ihre jeweiligen Dauern sind unterschiedlich. Es ist auch möglich, dass einige Daten aufgrund von Anomalien im Abtastprozess fehlen oder erheblich ungenau sind, was zu dem Problem führt, dass die erfassten Originaldaten in der räumlichen Dimension einen unvollständigen Dateninhalt haben und in der zeitlichen Dimension diskontinuierlich sind und inkonsistente Zeitreihen aufweisen. In diesem Fall können die Daten beispielsweise in der zeitlichen Dimension auf der Grundlage von einer Standardtaktquelle verarbeitet werden, um die Synchronisierung und den Abgleich zwischen Daten aus mehreren Quellen zu realisieren. Gleichzeitig können verschiedene Algorithmen wie der Interpolationsalgorithmus und der Translationsalgorithmus zur Korrektur und Vervollständigung der Datenwerte (d. h. Verarbeitung in der räumlichen Dimension) verwendet werden, um einen integrierten vollständigen Datensatz für die Überwachung und Beurteilung der Schmierung zu erhalten.

**[0044]** In S104 wird die Merkmalsextraktion an Daten im integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes durchgeführt, um den Merkmalsdatensatz zu erhalten, der sich auf die Zielschmierung bezieht.

**[0045]** In einigen Ausführungsformen kann das Durchführen der Merkmalsextraktion Folgendes umfassen: Extrahieren von Merkmalen der Arbeitszustandsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Arbeitszustandsmerkmale zu erhalten; Extrahieren von Merkmalen der Zustandsüberwachungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Zustandsüberwachungsmerkmale zu erhalten; Extrahieren von Merkmalen der historischen Schmierungsbeurteilungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Schmierungsbeurteilungsmerkmale zu erhalten;

und Erhalten des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale.

**[0046]** Die folgenden Extraktionsprozesse können in beliebiger Reihenfolge oder parallel durchgeführt werden: Extrahieren von Merkmalen der Arbeitszustandsdaten im Datensatz, Extrahieren von Merkmalen der Zustandsüberwachungsdaten im Datensatz und Extrahieren von Merkmalen der historischen Schmierungsbeurteilungsdaten im Datensatz. Darüber hinaus können die obigen Merkmalsextraktionsprozesse mehrere Merkmalsextraktionsverfahren annehmen, und jeder Extraktionsprozess kann das gleiche Extraktionsverfahren oder verschiedene Extraktionsverfahren annehmen. Ein beispielhaftes Merkmalsextraktionsverfahren für die oben beschriebenen Merkmalsextraktionsprozesse ist unten dargestellt. Je nach den tatsächlichen Anforderungen kann die Datenextraktion für den Datensatz beispielsweise die Extraktion von Merkmalen aus dem Zeitbereich, die Extraktion von Merkmalen aus dem Frequenzbereich, die Extraktion von Merkmalen aus dem Zeit-Frequenz-Bereich, die Extraktion von Merkmalen aus der Wellenform und dergleichen umfassen.

**[0047]** Die Extraktion von Zeitbereichsmerkmalen bezieht sich auf die Extraktion von Zeitbereichsmerkmalen von Daten (z. B. gesammelte Signale), einschließlich, aber nicht beschränkt auf Mittelwert, Varianz, Standardabweichung, Maximalwert, Minimalwert, Quadratwurzel, Spitze-Spitze-Wert, Schiefe, Kurtosis, Wellenformindex, Impulsindex, Randindex und dergleichen. Die Extraktion von Frequenzmerkmalen bezieht sich auf die Extraktion von Frequenzmerkmalen von Daten, einschließlich, aber nicht beschränkt auf die mittlere quadratische Frequenz, die Frequenzvarianz, die Frequenzbandenergie und dergleichen. Die Extraktion von Merkmalen im Zeit-/Frequenzbereich bezieht sich auf die Extraktion von Merkmalen im Zeit-/Frequenzbereich von Daten, einschließlich, aber nicht beschränkt auf die Frequenzbandenergie oder die Zeitbereichseigenschaften von Signalen nach der Wavelet-Zerlegung oder empirischen Modenzerlegung. Die Extraktion von Wellenformmerkmalen bezieht sich auf die Extraktion von Wellenformmerkmalen von Daten, die beispielsweise, wenn es sich bei den Daten um ein gesammeltes Signal handelt, einen von der Wellenform des Signals eingeschlossenen Bereich, Maximum-/Minimum-Ableitungen, steigende Flanken, fallende Flanken und Ähnliches umfassen, aber nicht darauf beschränkt sind.

**[0048]** In einem Beispielprozess für die Extraktion von Arbeitszustandsmerkmalen wird für diskrete Arbeitszustandsdaten die Kodierung von Dummy-

Variablen direkt als Merkmal verwendet; für kontinuierliche Arbeitszustandsdaten wird ein Durchschnitt eines gleitenden Fensters als Merkmal verwendet.

**[0049]** In einem Beispielprozess zur Extraktion von Zustandsüberwachungsmerkmalen wird für Schwingungsdaten ein Gesamtwert ihres Hüllkurvenspektrums innerhalb eines bestimmten Bereichs als Schwingungsmerkmal verwendet und für Temperatur- und Inhaltsdaten wird ihr gleitender Mittelwert als Temperaturmerkmal verwendet.

**[0050]** In einem Beispielprozess für die Merkmalsextraktion bei der Schmierungsbeurteilung wird bei diskreten Beurteilungsdaten die Kodierung von Dummy-Variablen direkt als Merkmal verwendet; bei kontinuierlichen Beurteilungsdaten wird ein Durchschnitt des gleitenden Fensters als Merkmal verwendet.

**[0051]** In einigen Beispielen wird während der Merkmalsextraktion eine Standardisierungsverarbeitung an Merkmalsdaten in jeder Dimension durchgeführt, d. h. ein Durchschnittswert in der Dimension wird von einem ursprünglichen Merkmalswert subtrahiert und dann durch eine Standardabweichung der Dimension geteilt.

**[0052]** Was die Bildung des Merkmalsdatensatzes anbelangt, so kann der Merkmalsdatensatz zum Beispiel durch direkte Einbeziehung der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale gebildet werden. Alternativ können die Arbeitszustandsmerkmale, die Zustandsüberwachungsmerkmale und die Schmierungsbeurteilungsmerkmale weiter verarbeitet werden, und der Merkmalsdatensatz wird auf der Grundlage der Verarbeitungsergebnisse erhalten. Die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind nicht durch ein bestimmtes Erzeugungsverfahren und den Inhalt des Merkmalsdatensatzes beschränkt.

**[0053]** In einigen Ausführungsformen kann das Erhalten des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale weiter beinhalten: Erhalten von fusionierten Merkmalsdaten durch Merkmalsfusionsverarbeitung auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale, und Erzeugen des Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der fusionierten Merkmalsdaten.

**[0054]** Beispielsweise kann auf der Grundlage des durch Extraktion erhaltenen Merkmalsdatensatzes eine Merkmalsfusion verschiedener Ebenen und



Dimensionen durchgeführt werden, um einen effektiven mehrdimensionalen Merkmalsvektor zu erhalten. Der mehrdimensionale Merkmalsvektor kann z. B. ausgedrückt werden als  $F = \{F_{ij} | i = 1, 2, \dots, k\}$  ausgedrückt werden, wobei  $k$  eine Dimension nach der Merkmalsextraktion und -fusion darstellt.  $F$  enthält fusionierte Merkmale der Arbeitszustandsmerkmale, Zustandsüberwachungsmerkmale und Schmierungsbeurteilungsmerkmale. Bei den extrahierten und fusionierten Merkmalen kann es sich um Merkmale handeln, die für die Schmierungsbeurteilung verwendet werden, die empfindlich auf den Schmierungszustand reagieren und die nicht so leicht von den durch die Arbeitszustände verursachten Störungen beeinflusst werden.

**[0055]** Beispielsweise kann das Verfahren der Merkmalsebenen-tiefenfusion verwendet werden, d. h. die extrahierten ursprünglichen Merkmale (z. B. die Arbeitszustandsmerkmale, die Zustandsüberwachungsmerkmale, die Schmierungsbeurteilungsmerkmale) werden in verschiedenen Dimensionen auf der Grundlage von Abstandsalgorithmen, Ähnlichkeitsalgorithmen, Algorithmen zur gewichteten Mittelwertbildung, Hauptkomponentenanalysealgorithmen usw. fusioniert, und man erhält fusionierte Merkmale, die die ursprünglichen Merkmalsinformationen aus der Merkmalstiefenrichtung integrieren. Beispielsweise kann auch ein Verfahren zur Merkmalsfusion auf verschiedenen Ebenen, wie einer Signalebene, einer Arbeitszustandsebene und dergleichen, angewendet werden, um fusionierte Merkmale zu erhalten, die die ursprünglichen Merkmalsinformationen aus der Merkmalsbreitenrichtung integrieren. Es sollte beachtet werden, dass die obigen Ausführungen nur beispielhafte Fusionsverfahren bereitstellen, und dass verschiedene Datenfusionsverfahren gemäß den tatsächlichen Anforderungen eingesetzt werden können. Die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind nicht durch ein bestimmtes Verfahren der Datenfusion beschränkt.

**[0056]** Gemäß den obigen Ausführungen kann der erhaltene Zielmerkmalsdatensatz die Eigenschaften der Schmierung in mehreren Aspekten umfassend widerspiegeln, indem die auf die Schmierung bezogenen Arbeitszustandsmerkmale, Zustandsüberwachungsmerkmale und Schmierungsbeurteilungsmerkmale aus dem integrierten Datensatz unter Verwendung verschiedener Merkmalsextraktionsverfahren extrahiert und der Zielmerkmalsdatensatz auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, Zustandsüberwachungsmerkmale und Schmierungsbeurteilungsmerkmale erhalten wird. Im Vergleich zu bestehenden technischen Lösungen, die nur ein einziges Merkmal extrahieren und nur ein einziges Merkmalsextraktionsverfahren durchführen, kann der durch das Merkmalsextraktionsverfahren der vorliegenden Offenbarung erhaltene Merkmals-

datensatz, der sich auf die Schmierung bezieht, die Eigenschaften der Schmierung auf mehreren Ebenen, in mehreren Dimensionen und unter mehreren Aspekten umfassender widerspiegeln, was der späteren Realisierung einer umfassenderen und genaueren Schmierungsbeurteilung auf der Grundlage des Merkmalsdatensatzes förderlich ist.

**[0057]** In S105 wird ein Schmierungsanalysemodell zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des Merkmalsdatensatzes für die Zielschmierung erstellt.

**[0058]** Auf der Grundlage des aus S104 erhaltenen auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes können verschiedene Arten von Analyse- und Beurteilungsmodellen für verschiedene Schmierungsbeurteilungsanwendungen unter Verwendung umfassender Verfahren und Algorithmen erstellt werden. Es ist zu beachten, dass das Erstellen verschiedener auf die Schmierung bezogener Analyse- und Beurteilungsmodelle, wie sie in den folgenden Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beschrieben werden, nur als Beispiel und nicht als spezifische Einschränkung der Analyse- und Beurteilungsmodelle gedacht ist. Analyse- und Beurteilungsmodelle für andere Aspekte im Zusammenhang mit der Schmierung können gemäß den tatsächlichen Anforderungen erstellt und ausgebildet werden, und jedes Modell kann auch gemäß den Eigenschaften der Anwendungen ausgewählt und ausgebildet werden.

**[0059]** In einigen Ausführungsformen kann beispielsweise das Erstellen des Schmieranalyse-Modells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes das Erstellen eines Schmierungsanomaliedetektionsmodells zum Detektieren einer Schmierungsanomalie auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes umfassen. Das Schmierungsanomaliedetektionsmodell kann eine Vielzahl von Verfahren zur Anomaliedetektion verwenden, um ein Anomalierisiko der Zielschmierung und der relevanten Schmierleistung zu detektieren. Die Verfahren zur Anomaliedetektion können z. B. ein K-Sigma-Verfahren, ein Boxplot-Verfahren, KNN, LOF, Ein-Klassen-SVM usw. umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt.

**[0060]** Beispielsweise kann in einigen Ausführungsformen das Erstellen des Schmieranalyse-Modells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes das Erstellen eines Schmierfehlermodusklassifizierungsmodells zur Klassifizierung von Schmierfehlermodi auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes umfassen. Das Schmierfehlermodusklassifizierungsmodell kann eine Vielzahl von Klassifizierungsver-

fahren verwenden, um die Modi der Zielschmierzustände und die relevante Schmierleistung zu erkennen und zu klassifizieren. Zu den darin verwendeten Klassifizierungsverfahren gehören beispielsweise logistische Regression, Bayes'sche Verfahren, SVM, KNN, Entscheidungsbaum, Random Forest, XGBoost usw., aber sind nicht darauf beschränkt.

**[0061]** In einigen Ausführungsformen kann das Erstellen des Schmierungsanalysemodells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes beispielsweise Folgendes umfassen: Erstellen eines Schmierstandklassifizierungsmodells zur Klassifizierung der Schmierstände auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes. Das Schmierstandklassifizierungsmodell kann eine Vielzahl von Klassifizierungsverfahren verwenden, um die Stände der Zielschmierung und die relevante Schmierleistung zu detektieren und zu klassifizieren. Die darin verwendeten Klassifizierungsverfahren können logistische Regression, Bayes'sche Verfahren, SVM, KNN, Entscheidungsbaum, Random Forest, XGBoost usw., umfassen, aber sind nicht darauf beschränkt.

**[0062]** In einigen Ausführungsformen kann das Erstellen des Schmieranalyse-Modells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes beispielsweise Folgendes umfassen: Erstellen eines Schmierungsindikator-Vorhersagemodells zur Vorhersage von Schmierungsindikatoren auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes. Das Schmierungsindikator-Vorhersagemodell kann eine Vielzahl von Korrelationsanalyse- und Regressionsverfahren verwenden, um Schmierungsindikatoren der Ziel-Anwendung und Verläufe der relevanten Leistung anzupassen und vorherzusagen. Zu den darin verwendeten Korrelationsanalyse- und Regressionsverfahren gehören lineare Regression, Ridge-Regression, Lasso-Regression, SVR, Random Forest usw., sind aber nicht darauf beschränkt.

**[0063]** Das Erstellen und das Training der oben beschriebenen beispielhaften schmierbezogenen Analysemodelle basieren auf dem auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatz. In Verbindung mit der vorstehenden Beschreibung der vorliegenden Offenbarung kann bekannt sein, dass der auf die Schmierung bezogene Merkmalsdatensatz auf der Grundlage der Merkmalsextraktion der auf die Schmierung bezogenen Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und historischen Schmierungsbeurteilungsdaten erhalten wird. Durch Kombinieren der historischen Schmierungsbeurteilungsdaten können die Merkmalsdaten bezeichnet werden. Die bezeichneten Merkmalsdaten werden als Eingabe für ein entsprechendes Analysemodell

verwendet, so dass jedes Analysemodell effektiv trainiert werden kann. Da der Merkmalsdatensatz, der sich auf die Schmierung bezieht und durch das oben genannte Merkmalsextraktionsverfahren der vorliegenden Offenbarung erhalten wurde, die Eigenschaften der Schmierung auf mehreren Ebenen, in mehreren Dimensionen und unter mehreren Aspekten umfassender widerspiegeln kann, sind die Ausgaben der Analysemodelle, die auf der Grundlage des Merkmalsatzes erstellt und trainiert wurden, in der Lage, einen umfassenderen und genaueren Zustand über die Schmierung wiederzugeben, und somit ist es weiter vorteilhaft, eine umfassendere und genauere Beurteilung des Schmiermittelzustands auf der Grundlage der Ausgaben der Analysemodelle anschließend zu realisieren. Es ist zu beachten, dass die historischen Schmierungsbeurteilungsdaten nur im Prozess des Erstellens und des Trainings des Analyse- und Beurteilungsmodells der vorliegenden Offenbarung verwendet werden können. Im Prozess der Verwendung des Analyse- und Beurteilungsmodells nach dem Training ist es nicht mehr notwendig, historische Schmierungsbeurteilungsdaten zu sammeln.

**[0064]** In S 106 wird die Schmierung beurteilt und ein Ergebnis zur Schmierungsgesundheitsbeurteilung auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells erstellt.

**[0065]** Beispielsweise können in einigen Ausführungsformen auf der Grundlage der Ausgaben des Schmierungsanomaliedetektionsmodells Anomalien der Schmierung detektiert werden und das Ergebnis der Schmierungsanomaliedetektion erzeugt werden. Zum Beispiel können in einigen Ausführungsformen, auf der Grundlage der Ausgaben des Modells zur Schmierfehlermodusklassifizierung, Fehlermodi der Schmierung klassifiziert und das Ergebnis der Schmierfehlermodusklassifizierung erzeugt werden. In einigen Ausführungsformen können zum Beispiel auf der Grundlage der Ausgaben des Schmierstandklassifizierungsmodells die Schmierstände klassifiziert und das Schmierstandklassifizierungsergebnis erzeugt werden. In einigen Ausführungsformen können beispielsweise auf der Grundlage des Schmierungsindikator-Vorhersagemodells auch Schmierungsindikatoren vorhergesagt werden und das Schmierungsindikator-Vorhersageergebnis kann erzeugt werden.

**[0066]** Beispielsweise kann in einigen Ausführungsformen das Ergebnis der Schmierungsgesundheitsbeurteilung gemäß einem von dem Ergebnis der Schmierungsanomaliedetektion, dem Ergebnis der Schmierfehlermodusklassifizierung, dem Ergebnis der Schmierstandklassifizierung und dem Ergebnis der Vorhersage des Schmierungsindikators direkt erzeugt werden. Beispielsweise kann in einigen Ausführungsformen das Ergebnis der Schmierungsgesund-

heitsbeurteilung auch gemäß einer Kombination aus einem oder mehreren des Ergebnisses der Schmierungsanomaliedetektion, des Ergebnisses der Schmierfehlermodusklassifizierung, des Ergebnisses der Schmierstandklassifizierung und des Ergebnisses der Vorhersage des Schmierungsindikators erzeugt werden. Auf diese Weise können ein Gesundheitszustand der Schmierung der Ziel-Anwendung und ihre relevante Leistung aus verschiedenen Blickwinkeln beurteilt werden, wie z. B. Grad der Schmierungsanomalie, Grad der Gesundheit der Schmierversorgung, Grad der Verschlechterung, Grad der Verschmutzung, Fehlermodus und Schweregrad und verschiedene Schmierungsindikatoren.

**[0067]** Auf der Grundlage der obigen Offenbarung werden in dem Verfahren zur Schmierungsbeurteilung der vorliegenden Offenbarung Multi-Signal-, Multi-Arbeitszustands- und mehrdimensionale Daten in Bezug auf die Schmierung verwendet und integriert, und somit können umfassendere relevante Merkmale extrahiert werden können, so dass ein effektiveres Korrelationsmodell zwischen einem mechanischen Ziel-System (Vorrichtung oder Komponente) oder einem Prozessstatus, auf das eine Schmierung angewendet wird, und einem Schmierzustand erstellt werden kann, um empfindlichere und genauere Indikatoren zu erhalten, und schließlich eine Online- und quantitative Reflexion und Beurteilung verschiedener Situationen und Zustände in Bezug auf die Schmierung realisiert werden kann.

**[0068]** Fig. 2 zeigt ein modulares Rahmendiagramm eines Verfahrens oder Systems zur Beurteilung, Entscheidung und Optimierung einer Schmierung gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Das in Fig. 2 dargestellte modulare Rahmendiagramm zeigt beispielhaft ein Datenerfassungsmodul, ein Datenvorverarbeitungsmodul, ein Datenintegrationsmodul, ein Merkmalsextraktionsmodul, ein Analyse- und Beurteilungsmodul und ein Entscheidungs- und Optimierungsmodul. Jedes der oben genannten Module kann in Software, in Hardware oder in einer Kombination aus Software und Hardware implementiert werden.

**[0069]** Das Datenerfassungsmodul dient zur Erfassung der erforderlichen Daten. Zum Beispiel kann der Schritt S 101 in Fig. 1 durchgeführt werden, um auf die Zielschmierung bezogene Arbeitszustandsdaten, auf die Zielschmierung bezogene Zustandsüberwachungsdaten und auf die Zielschmierung bezogene Schmierungsbeurteilungsdaten zu erfassen.

**[0070]** Das Datenvorverarbeitungsmodul ist dazu gedacht, die erfassten Daten zu verarbeiten. Beispielsweise kann der Schritt S102 in Fig. 1 durchge-

führt werden, um die erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten vorzuverarbeiten, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, vorverarbeitete Zustandsüberwachungsdaten und vorverarbeitete Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten.

**[0071]** Das Datenintegrationsmodul ist dazu gedacht, die vorverarbeiteten Daten zu integrieren. Beispielsweise kann der Schritt S103 in Fig. 1 ausgeführt werden, um eine Datenintegration der vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, der vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und der vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten durchzuführen, um den integrierten Datensatz zu erhalten.

**[0072]** Das Merkmalsextraktionsmodul ist dazu gedacht, eine Merkmalsextraktion an dem integrierten Datensatz durchzuführen. Zum Beispiel kann der Schritt bei S104 in Fig. 1 durchgeführt werden, um eine Merkmalsextraktion an Daten im integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes durchzuführen, um den auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten. Wie in Fig. 2 dargestellt, ist das Arbeitszustandsextraktionsmodul dazu bestimmt, Merkmale der Arbeitszustandsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes zu extrahieren, um Arbeitszustandsmerkmale zu erhalten. Das Zustandsüberwachungsmerkmalsextraktionsmodul dient dazu, Merkmale der Zustandsüberwachungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes zu extrahieren, um Zustandsüberwachungsmerkmale zu erhalten. Das Schmierungsbeurteilungsmerkmalsextraktionsmodul dient dazu, Merkmale der historischen Schmierungsbeurteilungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes zu extrahieren, um Schmierungsbeurteilungsmerkmale zu erhalten. Auf der Grundlage der extrahierten Arbeitszustandsmerkmale, Zustandsüberwachungsmerkmale und Schmierungsbeurteilungsmerkmale kann der Zielmerkmalsdatensatz, der sich auf das Schmierungsziel bezieht, somit für die anschließende Modellierung, Analyse und Beurteilung gebildet werden.

**[0073]** Das Analyse- und Beurteilungsmodul dient dazu, die Schmierung auf der Grundlage des extrahierten Merkmalsdatensatzes zu analysieren und zu beurteilen. Beispielsweise können die Schritte S105 und S106 in Fig. 1 durchgeführt werden, um ein Schmierungsanalysemodell zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des Merkmalsdatensatzes zu erstellen, die Zielschmierung zu beurteilen und ein Schmierungsbeurteilungsergebnis auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells zu erzeugen. Für das in Fig. 2 beispielhaft dargestellte Analyse- und Beurteilungsmodul können ein Modul zur Detektion von Schmierungsanomalien, ein

Modul zur Schmierfehlermodusklassifizierung, ein Modul zur Klassifizierung des Schmierstands und ein Modul zur Vorhersage von Schmierungsindikatoren, die darin enthalten sind, jeweils entsprechende Analysemodelle wie oben beschrieben erstellen, entsprechende Analyseergebnisse gemäß den Ausgaben der entsprechenden Analysemodelle erzeugen, wie beispielsweise ein Schmierungsanomaliedetektionsergebnis, ein Schmierfehlermodusklassifizierungsergebnis, ein Schmierstandklassifizierungsergebnis und ein Schmierungsindikatorvorhersageergebnis. Das Schmierungsgesundheitsbeurteilungsmodul kann ein Schmierungsgesundheitsbeurteilungsergebnis erzeugen, das die Schmierung aus mehreren Perspektiven und in mehreren Dimensionen widerspiegelt, auf der Grundlage von zumindest einem des Ergebnisses der Detektion von Schmierungsanomalien, des Ergebnisses der Schmierfehlermodusklassifizierung, des Ergebnisses der Klassifizierung des Schmierstands und des Ergebnisses der Vorhersage des Schmierungsindikators.

**[0074]** Das Entscheidungs- und Optimierungsmodul in **Fig. 2** ist dazu gedacht, entsprechende Entscheidungen zu treffen und relevante Optimierungsmaßnahmen auf der Grundlage des Ergebnisses der Schmierungsgesundheitsbeurteilung durchzuführen. Es ist zu beachten, dass in **Fig. 2** nur einige Hauptaspekte dargestellt sind, während in praktischen Anwendungen die Auswahl und Ausbildung gemäß den tatsächlichen Anforderungen erfolgen kann. So wird beispielsweise ein Schmieralarm auf der Grundlage des Ergebnisses der Schmierungsgesundheitsbeurteilung ausgegeben, so dass ein Bediener auf der Grundlage des Schmieralarms geeignete Maßnahmen zur Verwaltung und Einstellung ergreifen kann. Beispielsweise können gemäß dem Ergebnis der Schmierungsgesundheitsbeurteilung Überwachungssituationen und Einstufungssituationen des Schmierungszustands online in verschiedenen Formen automatisch oder nach Abruf durch einen Bediener ausgegeben werden. Infolgedessen können gemäß den verschiedenen Situationen unterschiedliche Optimierungsentscheidungen und -maßnahmen ergriffen werden. Beispielsweise kann die Schmierung gemäß dem Ergebnis der Schmierungsgesundheitsbeurteilung online auf der Grundlage eines vorhergesagten Verlaufs der Schmierleistung entsprechend optimiert werden. Beispielsweise können Schmierungsgesundheitsbeurteilungsergebnisse und -standards gemäß den tatsächlichen Anforderungen oder der Wahl des Bedieners generiert und ausgegeben werden.

**[0075]** Darüber hinaus kann das Schmierungsbeurteilungssystem der vorliegenden Offenbarung weiter ein Selbstlern- und Verbesserungsmodul enthalten. Das Selbstlern- und Verbesserungsmodul kann beispielsweise kontinuierlich Daten sammeln, mit einem

Betriebssystem verbunden sein und mit Produktionskomponenten zusammenarbeiten sowie Algorithmen, Logik und Parameter auf der Grundlage eines selbstlernenden Mechanismus aktualisieren, wodurch eine automatische Verbesserung des Systems erreicht wird.

**[0076]** **Fig. 3** zeigt ein beispielhaftes Verlaufsdia-gramm für den Grad der Schmierungsanomalie gemäß dem Verfahren und System der vorliegenden Offenbarung, das Verlaufsdia-gramme für den Grad der Anomalie von vier Schmierungsanomalieindikatoren enthält. Die Schmierungsanomalieindikatoren entsprechen den Ausgaben des Schmierungsanomaliedetektionsanalysemodells. Obwohl die Anzahl der Schmierungsanomaliedetektionsindikatoren, die von dem in diesem Beispiel gezeigten Analysemodell für die Detektion von Schmierungsanomalien ausgegeben werden, vier beträgt, sollte berücksichtigt werden, dass verschiedene Analysemodelle für die Detektion von Schmierungsanomalien eine unterschiedliche Anzahl von Ausgangsindikatoren haben können. Im Beispiel von **Fig. 3** erfolgt die Datenabtastung mit einer Abtastfrequenz von z. B. 100 kHz. In den vier Teildiagrammen von **Fig. 3** stellt die Horizontale eine Abtast-ID dar, die vertikale Achse stellt einen normierten Wert eines Schmierungsanomalieindikators dar, und die gestrichelte Linie entspricht einem Schwellenwert für die Anomaliedetektion. In der Figur werden die detektierten Anomalien als Hinweis angezeigt.

**[0077]** **Fig. 4** zeigt eine Konfusionsmatrix der Ergebnisse der Schmierfehlermodusklassifizierung in einem Schmierungsbeurteilungsverfahren während der Prüfung. Die vorhergesagten Schmierfehlermodi auf der Horizontalen sind die Klassifizierungsergebnisse, die durch das Schmierfehler-Klassifizierungsmodell in dem Schmierbeurteilungsverfahren des Systems der vorliegenden Offenbarung erhalten werden, und die vertikale Achse stellt die wahren Schmierfehlermodusklassifizierungsergebnisse dar. Beispielsweise werden die Schmierfehlermodi in diesem Beispiel durch die folgenden Aspekte wiedergegeben: normale Schmierung, unzureichende Schmierung, ungeeignetes Schmiermittel, Schmiermittelverschlechterung und Schmiermittelverunreinigung. Es sollte beachtet werden, dass je nach Wunsch auch andere Klassifizierungen enthalten sein können. Diese Figur dient nur der Veranschaulichung und soll die verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht einschränken. Die diagonalen Daten der Matrix in der Figur stellen die Anzahl der Abtastungen mit denselben vorhergesagten und tatsächlichen Ergebnissen dar. Es ist ersichtlich, dass das Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung ein geeignetes Analysemodell erstellen und Analyse- und Beurteilungsergebnisse mit hoher Genauigkeit erzeugen kann.

**[0078] Fig. 5** zeigt eine Konfusionsmatrix der Schmierstandklassifizierungsergebnisse in einem Schmierungsbeurteilungsprozess während der Prüfung. Die vorhergesagten Pegelklassifizierungen (z. B. NLGI-Niveau) auf der horizontalen Achse sind die Ergebnisse, die durch das Schmierstandklassifizierungsmodell in dem Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung erhalten werden, und die vertikale Achse stellt die wahren Schmierstandklassifizierungsergebnisse dar. Die diagonalen Daten der Matrix in der Figur stellen die Anzahl der Abtastungen mit denselben vorhergesagten Ergebnissen und wahren Ergebnissen dar. Es ist ersichtlich, dass Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung ein geeignetes Analysemodell erstellen und Analyse- und Beurteilungsergebnisse mit hoher Genauigkeit erzeugen kann.

**[0079] Fig. 6** zeigt beispielhaft die vorhergesagten Ergebnisse eines Schmierungsindikators während der Prüfung. Im Beispiel von **Fig. 6** erfolgt die Datenabtastung mit einer Abtastfrequenz von z. B. 100 kHz. Die horizontale Achse zeigt die Abtast-IDs an, und die vertikale Achse zeigt die normierten Werte des Schmierungsindikators. Die Linie stellt die Anpassungsergebnisse der Schmierungsindikatorvorhersage dar, die durch das Schmierungsindikatorvorhersagemodell im Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung erhalten werden, und die Kreispunkte stellen die tatsächlichen Schmierungsindikatorergebnisse dar. Es ist auch aus **Fig. 6** ersichtlich, dass durch die Verwendung des Schmierungsindikator-Vorhersagemodells in dem Verfahren und dem System zur Schmierungsbeurteilung der vorliegenden Offenbarung, die gemäß den extrahierten Merkmalen erhaltenen vorhergesagten Schmierungsindikatoren den Schmierungszustand und -verlauf gut darstellen können. Somit können Schmierungssituationen auch im Voraus unter Verwendung des Schmierungsbeurteilungsverfahrens der vorliegenden Offenbarung vorhergesagt werden. Es ist aus dem Vergleich ersichtlich, dass das Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung ein geeignetes Analysemodell erstellen und Analyse- und Beurteilungsergebnisse mit hoher Genauigkeit erzeugen können. Eine Anpassungs- und Regressionsleistung der Vorhersage des Schmierungsindikators ist in **Fig. 7** dargestellt.

**[0080] Fig. 8** zeigt ein Radardiagramm einer beispielhaften Schmierungsgesundheitsbeurteilung auf der Grundlage von Teilergebnissen der Gesundheitsbeurteilung, die mit dem Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system gemäß der vorliegenden Offenbarung erhalten wurden. Zusätzlich zu den herkömmlichen Schmierungsdetektionsindikatoren (z. B. Schmierungsart, Schmierviskosität, Schmiermittelfilmdicke, Gehalt an Verunreinigungspartikeln,

Oberflächenbeschaffenheit, Sauberkeit) enthält das Radardiagramm weitere Arbeitszustandsparameter (z. B. Geschwindigkeit, Last, Temperatur, Feuchtigkeit) und Schmierungsgesundheitsbeurteilungsindikatoren aus der Modellanalyse (z. B. Menge, Verunreinigung, Verschlechterung, Stand, Typ). Es ist ersichtlich, dass auf der Grundlage der umfassenden Beurteilung des Schmierungsbeurteilungsverfahrens und -systems nach der vorliegenden Offenbarung umfassendere, objektivere, quantitativere und zeitgerechtere Indikatoren erhalten werden können. Diese Indikatoren können verwendet werden, um die Schmierung zu beurteilen, zu kontrollieren und zu optimieren und sogar umfassendere Standards für die Schmierleistung auszugeben.

**[0081]** Das Schmierungsbeurteilungssystem einer oder mehrerer Ausführungsformen eines anderen Aspekts der vorliegenden Offenbarung kann einen Datensammler und einen mit dem Datensammler verbundenen Prozessor umfassen. Der Datensammler der vorliegenden Offenbarung kann verschiedene Sensoren mit Erfassungsfunktionen umfassen, wie z. B. einen Geschwindigkeitssensor, einen Temperatursensor, einen Feuchtigkeitssensor und dergleichen. Der Datensammler kann auch eine beliebige Vorrichtung, eine Schnittstelle oder ein Schnittstellensystem enthalten, das mit einem System zur Datensammlung und -Überwachung verbunden ist, um Daten vom System zu erhalten. Der Prozessor der vorliegenden Offenbarung kann ein Mikroprozessor, ein anwendungsspezifischer integrierter Schaltkreis (ASIC), ein System auf einem Chip (SoC), eine Rechenvorrichtung, eine tragbare mobile Rechenvorrichtung (z. B. ein Tablet oder ein Mobiltelefon) oder ähnliches sein. Der Prozessor kann ausgebildet sein, um: die erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten vorzuverarbeiten, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, vorverarbeitete Zustandsüberwachungsdaten und vorverarbeitete Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten; eine Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten durchzuführen, um einen integrierten Datensatz zu erhalten; eine Merkmalsextraktion an Daten in dem integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes durchzuführen, um einen auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten; ein Schmierungsanalysemodell zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes, zu erstellen; und die Zielschmierung zu bewerten und ein Schmierungsbeurteilungsergebnis auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells zu erzeugen.

**[0082]** Das Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung kann die Nutzung und Fusion von Multi-Signal-, Multi-Arbeitszustands- und mehrdimensionalen Daten in Bezug auf die Schmierleistung realisieren, umfassendere Merkmale in Bezug auf die Schmierleistung extrahieren und daher effektivere Schmierungskorrelationsmodelle erstellen, wodurch empfindlichere und genauere Indikatoren erhalten werden, um schließlich verschiedene Bedingungen und Zustände über die Schmierleistung online und quantitativ zu reflektieren und zu beurteilen.

**[0083]** Darüber hinaus können das Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung die bestehenden Verfahren zur Inspektion und Beurteilung der Schmierleistung aus nicht-invasiver, zeitnaher und quantitativer Sicht bereichern und verbessern und somit Schmierungsprobleme rechtzeitig erkennen, die Schmierfehlermodi und den Schweregrad online klassifizieren und einstufen, die Schmierleistung im Voraus vorhersagen und die Prozessparameter in Echtzeit optimieren. Darüber hinaus können mit dem Schmierungsbeurteilungsverfahren und -system der vorliegenden Offenbarung mehr Indikatoren für die Beurteilung und Steuerung der Schmierleistung objektiv, quantitativ und zeitnah erhalten werden, und es können sogar umfassendere Standards für die Schmierleistung ausgegeben werden.

**[0084]** Darüber hinaus ist es durch die Verwendung des Verfahrens und Systems der vorliegenden Offenbarung möglich, den Schmierprozess, den Status und die Leistung in einem kontinuierlichen geschlossenen Kreislauf zu überwachen, zu beurteilen, zu steuern und zu optimieren, wodurch die Fähigkeit zur Schmierleistungsbeurteilung, die Fähigkeit zur Steuerung und die Fähigkeit zur Bereitstellung von Lösungen erheblich verbessert wird. Durch die Verarbeitung und Modellierung der erfassten Daten auf der Grundlage von großen Datenmengen oder maschinellem Lernen ist es außerdem möglich, die Beurteilung und Optimierung der Schmierleistung auf digitalisierte und intelligente Weise zu unterstützen.

**[0085]** Ein oder mehrere der hier beschriebenen Prozessoren, Speicher oder Systeme enthalten computerausführbare Anweisungen, die aus Computerprogrammen kompiliert oder interpretiert werden können, die mit verschiedenen Programmiersprachen und/oder Techniken erstellt wurden. Im Allgemeinen empfängt der Prozessor, z. B. ein Mikroprozessor, Befehle, z. B. aus einem Speicher, einem computerlesbaren Medium oder ähnlichem, und führt sie aus. Der Prozessor umfasst ein nicht flüchtiges, computerlesbares Speichermedium, das zur Ausführung von Anweisungen eines Softwareprogramms geeignet ist. Bei dem computerlesbaren Medium kann es sich um eine elektronische Spei-

chervorrichtung, eine magnetische Speichervorrichtung, eine optische Speichervorrichtung, eine elektromagnetische Speichervorrichtung, eine Halbleiterspeichervorrichtung oder eine beliebige Kombination davon handeln, ist aber nicht darauf beschränkt.

**[0086]** Die Beschreibung der Ausführungsformen wurde zum Zwecke der Veranschaulichung und Beschreibung vorgelegt. Geeignete Modifikationen und Variationen der Ausführungsformen können im Lichte der obigen Beschreibung durchgeführt werden oder durch die Praxis erhalten werden. Sofern nicht anders angegeben, können zum Beispiel eine oder mehrere der beschriebenen Verfahren durch eine Kombination geeigneter Vorrichtungen und/oder Systeme durchgeführt werden. Das Verfahren kann unter Verwendung eines oder mehrerer logischer Vorrichtungen (z. B. Prozessoren) in Verbindung mit einem oder mehreren zusätzlichen Hardwareelementen (wie Speichervorrichtungen, Speichern, Schaltkreisen, Hardware-Netzwerkschnittstellen usw.) durchgeführt werden, um gespeicherte Anweisungen auszuführen. Das Verfahren und die damit verbundenen Aktionen können auch parallel und/oder gleichzeitig in anderen als den in dieser Offenbarung beschriebenen Reihenfolgen durchgeführt werden. Das beschriebene System ist beispielhaft und kann zusätzliche Elemente enthalten und/oder Elemente weglassen. Der Gegenstand der vorliegenden Offenbarung umfasst alle neuartigen und nicht offensichtlichen Kombinationen der verschiedenen offenbart dargestellten Verfahrens- und Systemkonfigurationen sowie andere Merkmale, Funktionen und/oder Eigenschaften.

**[0087]** Wenn in der vorliegenden Offenbarung ein Element oder ein Schritt in der Einzahl aufgeführt und mit dem Wort „ein/eine“ eingeleitet wird, ist dies nicht so zu verstehen, dass eine Mehrzahl dieser Elemente oder Schritte ausgeschlossen ist, es sei denn, ein solcher Ausschluss wird angegeben. Darüber hinaus sind Verweise auf „eine Ausführungsform“ oder „ein Beispiel“ der vorliegenden Offenbarung nicht so zu verstehen, dass zusätzliche Ausführungsformen, die die genannten Merkmale ebenfalls aufweisen, ausgeschlossen sind. Die vorliegende Offenbarung wurde oben mit Bezug auf bestimmte Ausführungsformen beschrieben. Ein Fachmann wird jedoch erkennen, dass verschiedene Modifikationen und Änderungen hergestellt werden können, ohne vom breiteren Sinn und Umfang der vorliegenden Offenbarung, wie in den beigefügten Ansprüchen dargelegt, abzuweichen.

## Patentansprüche

1. Schmierungsbeurteilungsverfahren, das umfasst:  
Erfassen von auf eine Zielschmierleistung bezogene Arbeitszustandsdaten, auf die Zielschmierleistung bezo-

gene Zustandsüberwachungsdaten und auf die Zielschmierung bezogene Schmierungsbeurteilungsdaten;

Vorverarbeiten der erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, vorverarbeitete Zustandsüberwachungsdaten und vorverarbeitete Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten;

Durchführen einer Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten, um einen integrierten Datensatz zu erhalten;

Durchführen einer Merkmalsextraktion an Daten in dem integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um einen auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten;

Erstellen eines Schmierungsanalysemodells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes; und Beurteilen der Zielschmierung und Erzeugen eines Schmierungsbeurteilungsergebnisses auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells.

2. Schmierungsbeurteilungsverfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Durchführen der Merkmalsextraktion an Daten in dem integrierten Datensatz gemäß den Datentypen und den Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um den auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten, umfasst:

Extrahieren von Merkmalen der Arbeitszustandsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Arbeitszustandsmerkmale zu erhalten;

Extrahieren von Merkmalen der Zustandsüberwachungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Zustandsüberwachungsmerkmale zu erhalten;

Extrahieren von Merkmalen der Schmierungsbeurteilungsdaten auf der Grundlage des integrierten Datensatzes, um Schmierungsbeurteilungsmerkmale zu erhalten;

Erhalten des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale.

3. Schmierungsbeurteilungsverfahren gemäß Anspruch 2, wobei das Erhalten des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwachungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale umfasst:

Erhalten von fusionierten Merkmalsdaten durch eine Merkmalsfusionsverarbeitung auf der Grundlage der Arbeitszustandsmerkmale, der Zustandsüberwa-

chungsmerkmale und der Schmierungsbeurteilungsmerkmale, und Erzeugen des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes auf der Grundlage der fusionierten Merkmalsdaten.

4. Schmierungsbeurteilungsverfahren gemäß einem der Ansprüche 1-3, wobei das Erstellen des Schmierungsanalysemodells zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes, umfasst:

Erstellen eines Schmierungsanomaliedetektionsmodells zum Detektieren von Schmierungsanomalien auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes,

Erstellung eines Schmierfehlermodusklassifizierungsmodells auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes;

Erstellen eines Schmierstandklassifizierungsmodells zum Klassifizieren von Schmierständen auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes; und

Erstellen eines Schmierungsindikatorvorhersagemodells auf der Grundlage des auf die Schmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes.

5. Schmierungsbeurteilungsverfahren gemäß Anspruch 4, wobei das Beurteilen der Schmierung und das Erzeugen des Schmierungsbeurteilungsergebnisses auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells umfasst:

Detektieren von Schmierungsanomalien und Erzeugen eines Schmierungsanomaliedetektionsergebnisses auf der Grundlage der Ausgaben des Schmierungsanomaliedetektionsmodells;

Klassifizieren von Schmierfehlermodi und Erzeugen eines Schmierfehlermodusklassifizierungsergebnisses auf der Grundlage der Ausgaben des Schmierfehlermodus-Klassifizierungsmodells;

Klassifizieren von Schmierständen und Erzeugen eines Schmierstandklassifizierungsergebnisses auf der Grundlage der Ausgaben des Schmierstandklassifizierungsmodells;

Vorhersagen von Schmierungsindikatoren und Erzeugen eines Schmierungsindikatorvorhersageergebnisses auf der Grundlage des Schmierungsindikatorvorhersagemodells; und

Erzeugen eines Schmierungsgesundheitsbeurteilungsergebnisses auf der Grundlage von zumindest einem des Schmierungsanomaliedetektionsergebnisses, des Schmierfehlermodusklassifizierungsergebnisses und des Schmierungsindikatorvorhersageergebnisses.

6. Schmierungsbeurteilungsverfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Vorverarbeiten der erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten das Durchführen von zumindest einem einer Datendeduplizie-

rungsverarbeitung, Datentrauschungsverarbeitung, Datencodierungsverarbeitung und Datenfilterungsverarbeitung umfasst.

der vorhergehenden Ansprüche 1-8 durchgeführt wird.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

7. Schmierungsbeurteilungsverfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Durchführen der Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten umfasst:

Durchführen von zumindest einem von einer Synchronisations-, Ausrichtungs- und Korrekturverarbeitung an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten.

8. Schmierungsbeurteilungsverfahren gemäß Anspruch 1, das ferner das Optimieren der Zielschmierung auf der Grundlage des Schmierungsbeurteilungsergebnisses umfasst.

9. Schmierungsbeurteilungssystem, das umfasst:

einen Datensammler, der dazu ausgebildet ist, auf die Zielschmierung bezogene Arbeitszustandsdaten, auf die Zielschmierung bezogene Zustandsüberwachungsdaten und auf die Zielschmierung bezogene Schmierungsbeurteilungsdaten zu erfassen; und

einen mit dem Datensammler verbundenen Prozessor, der dazu ausgebildet ist:

die erfassten Arbeitszustandsdaten, Zustandsüberwachungsdaten und Schmierungsbeurteilungsdaten vorzuverarbeiten, um vorverarbeitete Arbeitszustandsdaten, vorverarbeitete Zustandsüberwachungsdaten und vorverarbeitete Schmierungsbeurteilungsdaten zu erhalten;

eine Datenintegration an den vorverarbeiteten Arbeitszustandsdaten, den vorverarbeiteten Zustandsüberwachungsdaten und den vorverarbeiteten Schmierungsbeurteilungsdaten durchzuführen, um einen integrierten Datensatz zu erhalten;

eine Merkmalsextraktion an Daten im integrierten Datensatz gemäß Datentypen und Dateneigenschaften auf der Grundlage des integrierten Datensatzes durchzuführen, um einen auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatz zu erhalten;

ein Schmierungsanalysemodell zur Beurteilung der Zielschmierung auf der Grundlage des auf die Zielschmierung bezogenen Merkmalsdatensatzes zu erstellen; und

die Zielschmierung zu beurteilen und auf der Grundlage des Schmierungsanalysemodells ein Schmierungsbeurteilungsergebnis zu erzeugen.

10. Computerlesbares Speichermedium, auf dem computerlesbare Anweisungen gespeichert sind, wobei bei Ausführung der Anweisungen durch einen Computer das Verfahren nach einem



## Anhängende Zeichnungen

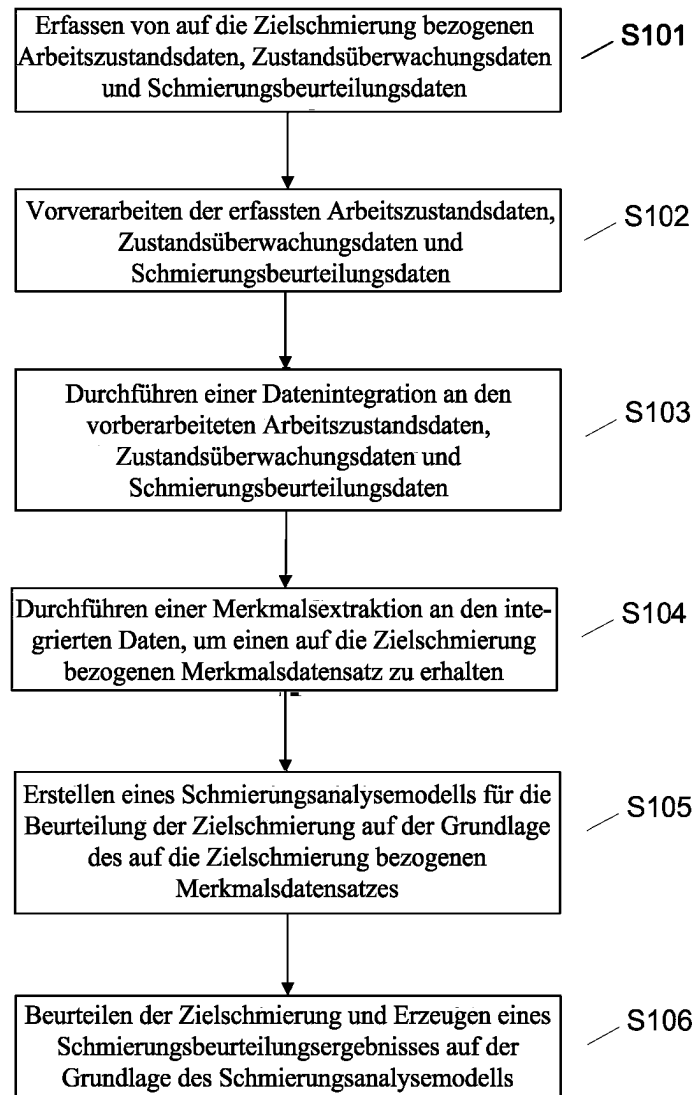


FIG.1

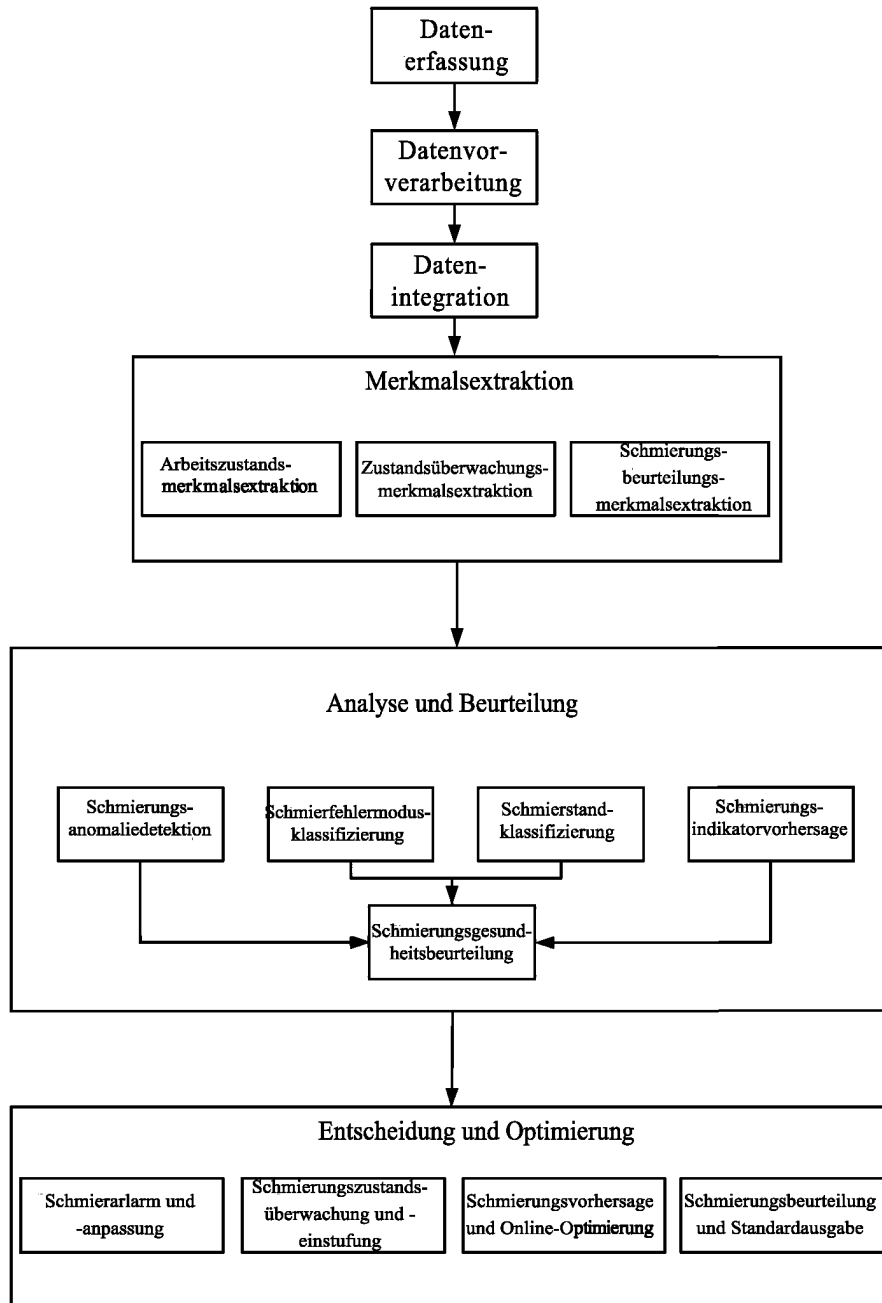


FIG.2

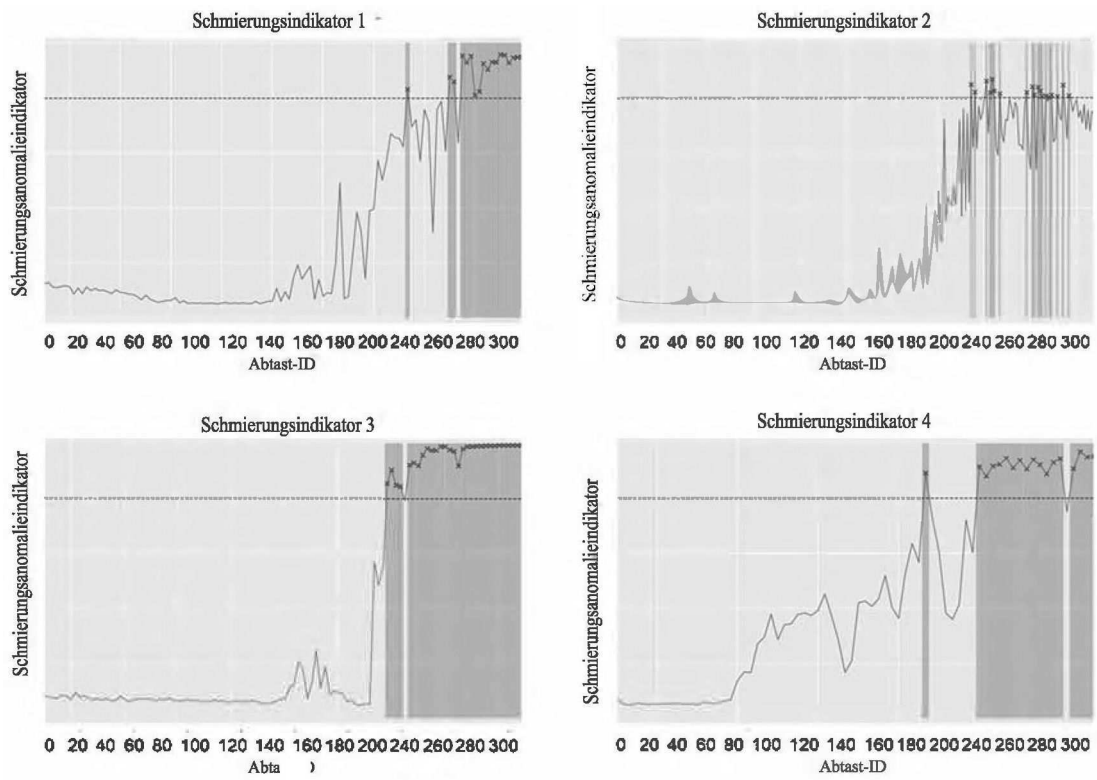


FIG. 3

**Schmierfehlermodusdiagnosekonfusionsmatrix :**

Wahrer Schmierfehlermodus	Vorhergesagter Schmierfehlermodus				
	Normale Schmierung	Unzureichende Schmierung	Ungeeignetes Schmiermittel	Schmiermittelverschlechterung	Schmiermittelverunreinigung
Normale Schmierung	95	0	2	2	1
Unzureichende Schmierung	0	48	0	1	1
Ungeeignetes Schmiermittel	1	1	43	3	2
Schmiermittelverschlechterung	0	2	2	40	6
Schmiermittelverunreinigung	0	1	2	8	39

FIG. 4

**Schmierstandsklassifizierungskonfusionsmatrix**

<b>Wahrer NLGI-Stand</b>	<b>000</b>	49	1	0	0	0	0	0	0	
	<b>00</b>	1	47	2	0	0	0	0	0	
	<b>0</b>	0	3	46	1	0	0	0	0	
	<b>1</b>	0	1	2	45	2	0	0	0	
	<b>2</b>	0	0	1	3	43	2	1	0	
	<b>3</b>	0	0	0	1	2	41	4	2	
	<b>4</b>	0	0	0	0	0	2	44	3	
	<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	1	48	
	<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	0	50	
		<b>000</b>	<b>00</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
		<b>Vorhergesagter NLGI-Stand</b>								

FIG. 5

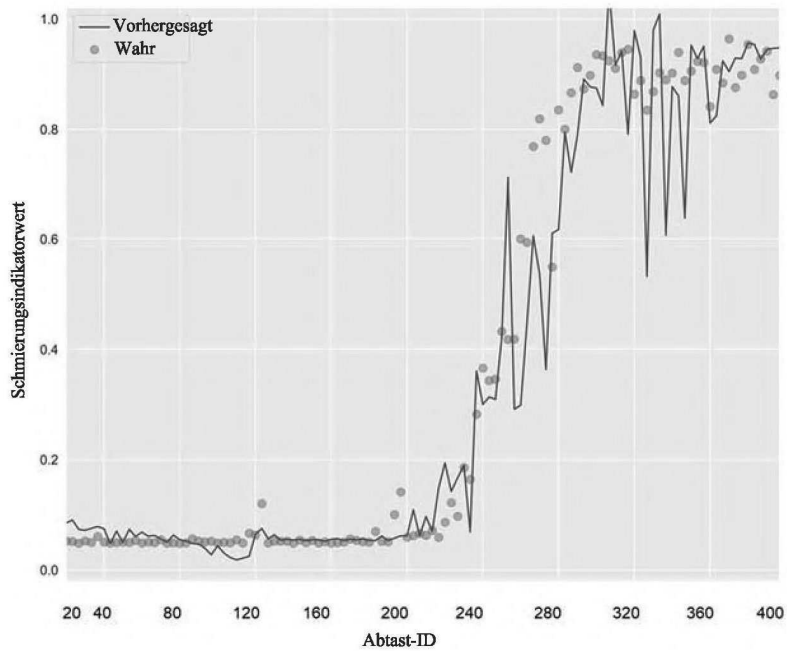


FIG. 6

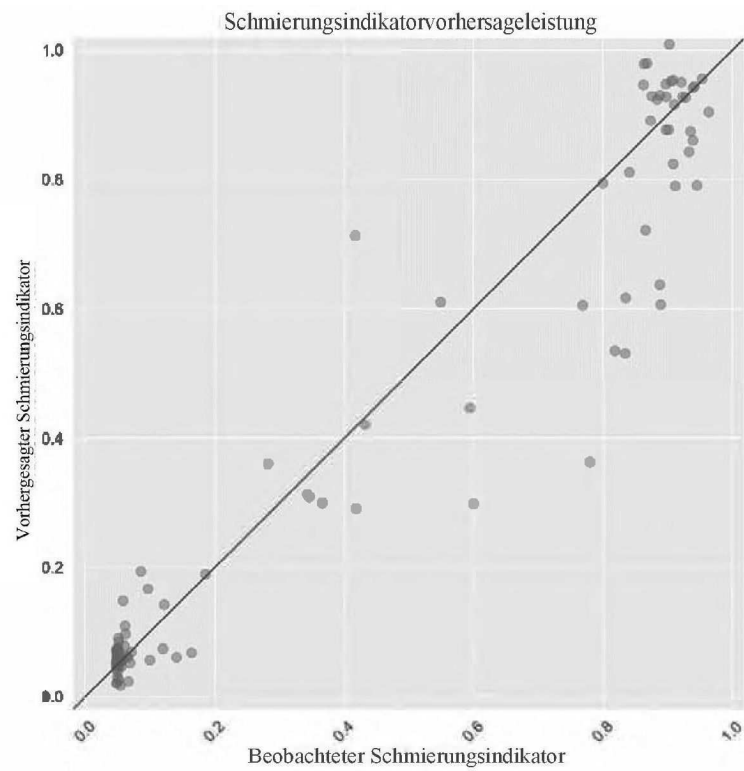


FIG. 7

### Schmierungsgesundheitsradardiagramm

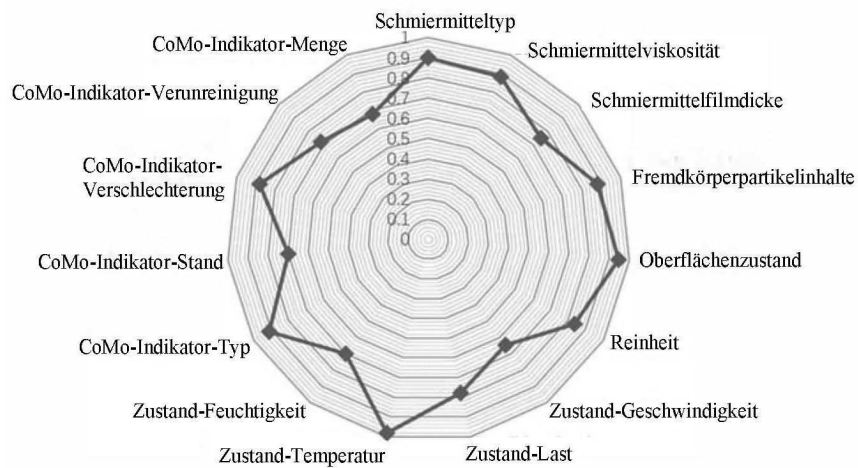


FIG. 8