



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 200 438.5**
(22) Anmeldetag: **19.01.2021**
(43) Offenlegungstag: **21.07.2022**

(51) Int Cl.: **G01M 13/00** (2019.01)
G01M 13/04 (2019.01)
G01M 99/00 (2011.01)
G06F 11/00 (2006.01)
G01D 21/00 (2006.01)
G06Q 50/00 (2012.01)
G05B 23/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter Haftung, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Nicolaou, Christina, 71229 Leonberg, DE;
Mansour, Ahmad, 71063 Sindelfingen, DE;
Schellenberg, Max, 71254 Ditzingen, DE; Jung, Philipp, 76327 Pfinztal, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 063 388	A1
DE	10 2010 025 851	A1
DE	10 2016 224 207	A1
DE	10 2019 100 721	A1
EP	2 166 491	A1

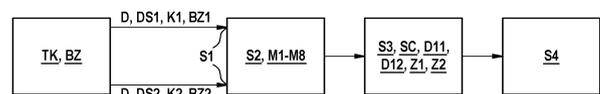
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Computerimplementiertes Verfahren und System zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente sowie Trainingsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein computerimplementiertes Verfahren zum Bereitstellen eines Algorithmus zur Klassifikation eines Betriebszustands (BZ) einer technischen Komponente (TK), umfassend ein Berechnen (S3) eines Score-Werts (SC) der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D) unter Verwendung eines Silhouettenkoeffizienten, welcher ein Ähnlichkeitsmaß von Merkmalswerten der unterschiedlichen Klassen zueinander angibt, und eine Auswahl (S4) zumindest eines der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) unter Verwendung des berechneten Score-Werts (SC). Ferner betrifft die Erfindung ein computerimplementiertes Verfahren und System zur Klassifikation eines Betriebszustands (BZ) einer technischen Komponente, ein Computerprogramm sowie einen computerlesbaren Datenträger.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein computerimplementiertes Verfahren zum Bereitstellen eines Algorithmus zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente.

[0002] Die Erfindung betrifft des Weiteren ein computerimplementiertes Verfahren zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente.

[0003] Die Erfindung betrifft ferner ein System zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente.

[0004] Mit steigender Anzahl an Machine Learning (ML) Algorithmen in verschiedenen Anwendungen steigt auch die Herausforderung für eine schnelle und einfache Umsetzung der ML Algorithmen für neue Anwendungen bzw. Usecases. Insbesondere für Anwendungen, bei denen der Algorithmus auf einem lokalen, stark ressourcenbeschränkten Gerät (z.B. IoT-Device, -Gateway) lauffähig sein soll, ist die Umsetzung sehr aufwändig.

[0005] Die DE 102010025851 A1 betrifft ein Verfahren und ein System zur Klassifikation eines Wälzlagerzustands. Hierbei wird während eines Betriebszustands eines Wälzlagers ein Körperschallzustandssignal des Wälzlagers gemessen. Unter Verwendung des gemessenen Körperschallzustandssignals werden Zustandsmerkmale, welche den Betriebszustand des Wälzlagers beschreiben, bestimmt. Unter Verwendung der Zustandsmerkmale und einer trainierbaren bzw. trainierten Abbildungsvorschrift, welche ein Zustandsverhalten eines Wälzlagers beschreibt, wird der Betriebszustand des Wälzlagers klassifiziert.

[0006] Für das Training der trainierbaren Abbildungsvorschrift werden unter Verwendung einer Abbildungsmodellvorschrift, welche ein Zustandsverhalten eines Wälzlagers, insbesondere eines geschädigten Wälzlagers, beschreibt (Schadensmodell), für vorgebbare geschädigte Zustände des Wälzlagers, Körperschallmodellsignale und daraus die Zustandsmerkmale ermittelt (Merkmalsextraktion). Unter Verwendung der Zustandsmerkmale und der vorgebbaren geschädigten Zustände wird die trainierbare Abbildungsvorschrift trainiert.

[0007] Typischerweise werden hierbei Datensätze gesammelt, von einem Data Scientist offline analysiert, Algorithmen für die Anwendung festgelegt, und anschließend auf einem Gateway oder Mikrokontroller implementiert. Die Wiederholung dieses Zyklus für jede neue Anwendung führt zu einem erheblichen Aufwand. Dies beschränkt die Übertragbarkeit der Algorithmen und verursacht damit hohe

Kosten und Zeitaufwände, welche die Umsetzung der ML Algorithmen begrenzen.

[0008] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren und System zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente sowie ein entsprechendes Trainingsverfahren vorzusehen.

[0009] Die Aufgabe wird mit einem computerimplementierten Verfahren zum Bereitstellen eines Algorithmus zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0010] Die Aufgabe wird darüber hinaus mit einem computerimplementierten Verfahren zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente mit den Merkmalen des Patentanspruchs 12 gelöst.

[0011] Des Weiteren wird die Aufgabe mit einem System zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 gelöst.

[0012] Ferner wird die Aufgabe mit einem Computerprogramm mit den Merkmalen des Patentanspruchs 15 und einem computerlesbaren Datenträger mit den Merkmalen des Patentanspruchs 16 gelöst.

Offenbarung der Erfindung

[0013] Die vorliegende Erfindung schafft ein computerimplementiertes Verfahren zum Bereitstellen eines Algorithmus zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente.

[0014] Das Verfahren umfasst ein Empfangen eines ersten Datensatzes von, eine erste Klasse repräsentierenden, einem ersten Betriebszustand einer technischen Komponente zugehörigen Sensordaten und eines zweiten Datensatzes von, eine weitere Klasse repräsentierenden, einem zweiten Betriebszustand einer technischen Komponente zugehörigen Sensordaten.

[0015] Ferner umfasst das Verfahren ein Berechnen einer vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten.

[0016] Das Verfahren umfasst überdies ein Berechnen eines Score-Werts der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten unter Verwendung eines Silhouettenkoeffizients, welcher ein Ähnlichkeitsmaß

von Merkmalswerten der unterschiedlichen Klassen zueinander angibt.

[0017] Das Verfahren umfasst darüber eine Auswahl zumindest eines der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen unter Verwendung des berechneten Score-Werts.

[0018] Die vorliegende Erfindung schafft des Weiteren ein computerimplementiertes Verfahren zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente.

[0019] Das Verfahren umfasst ein Bereitstellen von Sensordaten einer technischen Komponente. Das Verfahren umfasst ein Klassifizieren eines ersten Betriebszustands oder eines zweiten Betriebszustands der technischen Komponente durch einen Algorithmus unter Verwendung mindestens eines vorberechneten Merkmals der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten.

[0020] Das Verfahren umfasst ein Ausgeben eines den ersten Betriebszustand oder einen zweiten Betriebszustand der technischen Komponente oder eines zwischen dem ersten Betriebszustand und dem zweiten Betriebszustand liegenden weiteren Betriebszustand repräsentierenden Klassifikationsergebnisses.

[0021] Die vorliegende Erfindung schafft des Weiteren ein System zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente.

[0022] Das System umfasst zumindest einen Sensor zum Bereitstellen von Informationen des Betriebszustands der technischen Komponente aufweisenden Sensordaten.

[0023] Ferner umfasst das System eine Recheneinrichtung zum Klassifizieren eines ersten Betriebszustands oder eines zweiten Betriebszustands der technischen Komponente unter Verwendung mindestens eines vorberechneten Merkmals der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten, wobei die Recheneinrichtung dazu eingerichtet ist, ein den ersten Betriebszustand oder einen zweiten Betriebszustand der technischen Komponente repräsentierendes Klassifikationsergebnis auszugeben.

[0024] Die vorliegende Erfindung schafft ferner ein Computerprogramm mit Programmcode, um zumindest eines der erfindungsgemäßen Verfahren durchzuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird sowie einen computerlesbaren Datenträger mit Programmcode eines Computerprogramms, um zumindest eines der erfindungsgemäßen Verfahren durchzuführen, wenn das

Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird.

[0025] Eine Idee der vorliegenden Erfindung ist es, Muster und quantitative Abweichungen zwischen angelernten Mustern in Sensorsignalen zu erkennen, um einen Prozess zu überwachen oder den Maschinen-/Komponentenzustand zu beurteilen.

[0026] Das Vorgehen basiert auf einem Konfigurations- bzw. Trainingsprinzip, bei dem nur einige wenige Eingaben vom Anwender gebraucht werden. Der Anwender ist üblicherweise der Betreiber einer Maschine.

[0027] Danach werden die Merkmale automatisch online (nicht im post-processing) in einer einmaligen Einlernphase bewertet und selektiert. Eine Online-Beurteilung des Prozesses bzw. Zustandes der Maschine wird im Weiteren automatisch mit Hilfe dieser Merkmale und dem daraus gebildeten Modell durchgeführt.

[0028] Dieses Vorgehen beschränkt sich nicht nur auf Mustererkennung in Sensorsignalen, sondern kann auf unterschiedliche Arten von Daten, die eine Interaktion mit dem Anwender ermöglichen (Bilder, Bewegungsabläufe, Sprache, Vitalparameter...), angewendet werden. Die hier aufgeführte Erklärung mit Sensoren in industriellen Applikationen dient nur als anschauliches Beispiel.

[0029] Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

[0030] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass das Berechnen des Score-Werts der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten unter Verwendung eines mittleren Abstands von Merkmalswerten der ersten Klasse zu einem Zentralwert der ersten Klasse und eines mittleren Abstands von Merkmalswerten der ersten Klasse zu einem Zentralwert der zumindest einen weiteren Klasse und unter Verwendung eines mittleren Abstands von Merkmalswerten der weiteren Klasse zu einem Zentralwert der weiteren Klasse und eines mittleren Abstands von Merkmalswerten der weiteren Klasse zu einem Zentralwert der nächstgelegenen ersten Klasse durchgeführt wird.

[0031] Somit ist in vorteilhafter Weise eine exakte Abstandsberechnung der Merkmalswerte der jeweiligen Klassen zueinander möglich.

[0032] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass mindestens ein Merk-

mal der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen mit einem extremen, insbesondere einem höchsten oder geringsten, Score-Wert ausgewählt wird, wobei der Score-Wert, insbesondere ein Silhouettenkoeffizient, ein Ähnlichkeitsmaß des Merkmals der ersten Klasse im Vergleich zur weiteren Klasse angibt.

[0033] Somit kann in vorteilhafter Weise das ausgewählte Merkmal (die ausgewählten Merkmale) für die Operation bzw. Inferenz des Algorithmus verwendet werden, welches die genaueste bzw. bestmögliche Klassifikation der in den Sensordaten enthaltenen Klassen ermöglicht.

[0034] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die vorgegebene Mehrzahl von Merkmalen der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten in einem Zeit- und/oder Frequenzbereich berechnet werden.

[0035] Die vorgegebene Mehrzahl von Merkmalen kann beispielsweise einen Mittelwert, eine Standardabweichung, eine Schiefe und/oder eine Wölbung des Zeit- und/oder Frequenzbereichs umfassen. Alternativ können hierfür auch andere statistische oder nicht-statistische Werte verwendet werden.

[0036] Anhand der vorstehend genannten Merkmale kann in vorteilhafter Weise mindestens ein entsprechendes Merkmal selektiert werden, dass eine bestmögliche Unterscheidung der den Sensordaten enthaltenen Klassen ermöglicht.

[0037] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die technische Komponente ein Werkzeug, eine mechanische und/oder elektrische Komponente eines technischen Systems, insbesondere einer Maschine, ist und wobei der Betriebszustand einen aktiven und einen inaktiven Zustand und/oder einen normalen und einen abnormalen Zustand aufweist. Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit innerhalb eines breiten Spektrums technischer Anwendungen verwendbar.

[0038] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Score-Wert der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten durch Bildung der Summe aus einem ersten Quotienten und mindestens einem weiteren Quotienten berechnet wird, wobei der erste Quotient eine Eigenschaft der ersten Klasse repräsentiert, und wobei der weitere Quotient eine Eigenschaft der weiteren Klasse repräsentiert.

[0039] Die Anzahl der Quotienten entspricht dabei der Anzahl der vorhandenen Klassen.

[0040] Durch Vorsehen des Score-Werts kann eine quantitative Beurteilung der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen ermöglicht werden.

[0041] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der erste Quotient der mittlere Abstand von Merkmalswerten der ersten Klasse zu einem Zentralwert einer weiteren nächstgelegenen Klasse abzüglich dem mittleren Abstand von Merkmalswerten der ersten Klasse zu einem Zentralwert der ersten Klasse, dividiert durch einen Maximalwert des mittleren Abstands von Merkmalswerten der ersten Klasse zu einem Zentralwert der weiteren nächstgelegenen Klasse und des mittleren Abstands von Merkmalswerten der ersten Klasse zu einem Zentralwert der ersten Klasse ist.

[0042] Sofern mehr als zwei Klassen vorhanden sind wird für die Berechnung des Score-Werts die jeweils nächstgelegene Klasse verwendet.

[0043] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der weitere Quotient der mittlere Abstand von Merkmalswerten der weiteren nächstgelegenen Klasse zu einem Zentralwert der ersten Klasse abzüglich des mittleren Abstands von Merkmalswerten der weiteren nächstgelegenen Klasse zu einem Zentralwert der weiteren nächstgelegenen Klasse von Merkmalswerten der weiteren nächstgelegenen Klasse zu einem Zentralwert der weiteren nächstgelegenen Klasse und des mittleren Abstands von Merkmalswerten der weiteren nächstgelegenen Klasse zu einem Zentralwert der ersten Klasse ist.

[0044] Somit kann in vorteilhafter Weise eine exakte Unterscheidung bzw. Differenzierung zwischen den in den Sensordaten enthaltenen Klassen durchgeführt werden.

[0045] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Sensordaten durch einen Körperschallsensor, einen Beschleunigungssensor, einen Ultraschallsensor, einen Luftschallsensor und/oder einen Vibrationssensor bereitgestellt werden.

[0046] Die Erfindung ist somit unter Verwendung einer Vielzahl alternativer Sensoren bzw. in einer Vielzahl technischer Kontexte anwendbar.

[0047] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die berechneten Merkmale der die erste Klasse repräsentierenden Sensordaten und der die weitere Klasse repräsentierenden Sensordaten gegen einen Referenzwert jeder der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen normiert werden.

[0048] Durch die Normierung sind die berechneten statistischen Merkmale zueinander in Relation gesetzt bzw. miteinander vergleichbar.

[0049] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Zentralwert der ersten Klasse aus dem Mittelwert der Merkmale der ersten Klasse und der Zentralwert der weiteren Klasse aus dem Mittelwert der Merkmale der weiteren Klasse berechnet werden.

[0050] Der Score-Wert kann somit in vorteilhafter Weise unter Verwendung der Zentralwerte anstatt individueller Merkmalswerte berechnet werden, was eine effektive Reduzierung des Berechnungsaufwands bedeutet.

[0051] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass zum Klassifizieren eines ersten Betriebszustands oder eines zweiten Betriebszustands der technischen Komponente mindestens ein ausgewähltes Merkmal einer berechneten vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen mit einem extremen, insbesondere einem höchsten oder geringsten, Score-Wert verwendet wird, wobei der Score-Wert, insbesondere ein Silhouettenkoeffizient, ein Ähnlichkeitsmaß des Merkmals der ersten Klasse im Vergleich zur weiteren Klasse angibt.

[0052] Somit kann in vorteilhafter Weise das ausgewählte Merkmal für die Operation bzw. Inferenz des Algorithmus verwendet werden, welches die genaueste bzw. bestmögliche Klassifikation der in den Sensordaten enthaltenen Klassen ermöglicht.

[0053] Die beschriebenen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich beliebig miteinander kombinieren.

[0054] Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmale der Erfindung.

Figurenliste

[0055] Die beiliegenden Zeichnungen sollen ein weiteres Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung vermitteln. Sie veranschaulichen Ausführungsformen und dienen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erklärung von Prinzipien und Konzepten der Erfindung.

[0056] Andere Ausführungsformen und viele der genannten Vorteile ergeben sich im Hinblick auf die Zeichnungen. Die dargestellten Elemente der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander gezeigt.

[0057] Es zeigen:

Fig. 1 ein Ablaufdiagramm eines computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen eines Algorithmus zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 3 einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 5 einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 6 einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 7 ein Ablaufdiagramm eines computerimplementierten Verfahrens zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung; und

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Systems zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0058] In den Figuren der Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Elemente, Bauteile oder Komponenten, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

[0059] **Fig. 1** zeigt ein Ablaufdiagramm eines computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen eines Algorithmus zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0060] Das Verfahren umfasst ein Empfangen S1 eines ersten Datensatzes DS1 von, eine erste Klasse K1 repräsentierenden, einem ersten Betriebszustand

BZ1 einer technischen Komponente TK zugehörigen Sensordaten D und eines weiteren Datensatzes DS2 von, eine weitere Klasse K2 repräsentierenden, einem zweiten Betriebszustand BZ2 einer technischen Komponente TK zugehörigen Sensordaten D.

[0061] Das Verfahren umfasst ferner ein Berechnen S2 einer vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 der die erste Klasse K1 repräsentierenden Sensordaten D und der die weitere Klasse K2 repräsentierenden Sensordaten D. Die Merkmale sind eine reduzierte, informative Form der Sensordaten.

[0062] Die Merkmale M1-M8 werden dabei vor dem Berechnungsschritt S2 gegen einen ersten Wert jedes Merkmals M1-M8 normiert.

[0063] Darüber hinaus umfasst das Verfahren ein Berechnen S3 eines Score-Werts SC der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 der die erste Klasse K1 repräsentierenden Sensordaten D und der die weitere Klasse K2 repräsentierenden Sensordaten D unter Verwendung eines mittleren Abstands D11 von Merkmalswerten MW der ersten Klasse K1 zu einem Zentralwert Z1 der ersten Klasse K1 und eines mittleren Abstands D12 von Merkmalswerten MW der ersten Klasse K1 zu einem Zentralwert Z2 der nächstgelegenen weiteren Klasse K2.

[0064] Die Berechnung des Score-Werts SC der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 der die erste Klasse K1 repräsentierenden Sensordaten D und der die weitere Klasse K2 repräsentierenden Sensordaten D erfolgt ferner unter Verwendung eines mittleren Abstands D22 von Merkmalswerten MW der weiteren Klasse K2 zu einem Zentralwert Z2 der weiteren Klasse K2 und eines mittleren Abstands D21 von Merkmalswerten MW der weiteren Klasse K2 zu einem Zentralwert Z1 der nächstgelegenen ersten Klasse K1.

[0065] Ferner umfasst das Verfahren eine Auswahl S4 zumindest eines der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 unter Verwendung des berechneten Score-Werts SC. Alternativ können beispielsweise die besten x Merkmale ausgewählt werden.

[0066] Die technische Komponente TK ist ein Werkzeug, eine mechanische und/oder elektrische Komponente TK eines technischen Systems, insbesondere einer Maschine. Der Betriebszustand BZ weist einen aktiven und einen inaktiven Zustand und/oder einen normalen und einen abnormalen Zustand auf.

[0067] Fig. 2 zeigt einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0068] Es werden eine Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 berechnet. Merkmal M1 ist dabei ein Mittelwert, Merkmal M2 eine Standardabweichung, Merkmal M3 eine Schiefe und Merkmal M4 eine Wölbung des Zeitbereichs. Merkmal M5 ist ein Mittelwert, Merkmal M6 eine Standardabweichung, Merkmal M7 eine Schiefe und Merkmal M8 eine Wölbung des Frequenzbereichs.

[0069] Das Merkmal der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 mit einem extremen, insbesondere einem höchsten oder geringsten, Score-Wert SC wird ausgewählt. Der Score-Wert SC, insbesondere ein Silhouettenkoeffizient, gibt ein Ähnlichkeitsmaß des statistischen Merkmals der ersten Klasse K1 im Vergleich zur weiteren Klasse K2 an.

[0070] Die vorgegebene Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 der die erste Klasse K1 repräsentierenden Sensordaten D und der die weitere Klasse K2 repräsentierenden Sensordaten D werden in einem Zeit- und/oder Frequenzbereich berechnet.

[0071] Die Merkmale M1-M8 sind gegen einen ersten Wert jedes Merkmals M1-M8 normiert. Zusätzlich werden die Zentren bzw. Zentralwerte Z1, Z2 der Cluster bzw. Klassen aus dem Mittelwert der Merkmale berechnet.

[0072] Man kann anhand dieser Merkmale sehen, dass z.B. die Standardabweichung im Frequenzbereich ein gutes Clustering zeigt. Das heißt, die Klassen K1 und K2 sind gut trennbar. Auf der anderen Seite zeigen die Schiefe und die Wölbung im Frequenzbereich ein schlechtes Clustering, da sich die Merkmalswerte beider Klassen K1, K2 überschneiden.

[0073] Fig. 3 zeigt einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0074] Der Score-Wert SC der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 der die erste Klasse K1 repräsentierenden Sensordaten D und der die weitere Klasse K2 repräsentierenden Sensordaten D wird durch Bildung der Summe aus einem ersten Quotienten und einem weiteren Quotienten berechnet. Der erste Quotient repräsentiert dabei eine Eigenschaft der ersten Klasse K1 und der weitere Quotient repräsentiert eine Eigenschaft der weiteren Klasse K2.

[0075] Der erste Quotient ist der mittlere Abstand D12 von Merkmalswerten MW der ersten Klasse K1 zu einem Zentralwert Z2 der weiteren Klasse K2 abzüglich dem mittleren Abstand D11 von Merkmalswerten MW der ersten Klasse K1 zu einem Zentral-

wert Z1 der ersten Klasse K1, dividiert durch einen Maximalwert des mittleren Abstands D12 von Merkmalswerten MW der ersten Klasse K1 zu einem Zentralwert Z2 der weiteren Klasse K2 und des mittleren Abstands D11 von Merkmalswerten MW der ersten Klasse K1 zu einem Zentralwert Z1 der ersten Klasse K1.

[0076] Der weitere Quotient ist der mittlere Abstand D21 von Merkmalswerten MW der weiteren Klasse K2 zu einem Zentralwert Z1 der ersten Klasse K1 abzüglich des mittleren Abstands D22 von Merkmalswerten MW der weiteren Klasse K2 zu einem Zentralwert Z2 der weiteren Klasse K2, dividiert durch einen Maximalwert des mittleren Abstands D21 von Merkmalswerten MW der weiteren Klasse K2 zu einem Zentralwert Z1 der ersten Klasse K1 und des mittleren Abstands D22 von Merkmalswerten MW der weiteren Klasse K2 zu einem Zentralwert Z2 der weiteren Klasse K2.

[0077] Alternativ können beispielsweise mehr als zwei Datensätze, zwei Klassen und/oder zwei technische Komponenten vorhanden sein.

[0078] Ferner alternativ können durch die Abstandsberechnung beispielsweise Zustände zwischen zwei vorgegebenen Klassen bestimmt werden.

[0079] Fig. 4 zeigt einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0080] Das Merkmal der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 mit einem höchsten Score-Wert SC wird ausgewählt. Alternativ kann beispielsweise das Merkmal der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 mit einem geringsten Score-Wert SC wird ausgewählt werden.

[0081] Der Score-Wert SC, insbesondere ein Silhouettenkoeffizient, gibt ein Ähnlichkeitsmaß des Merkmals der ersten Klasse K1 im Vergleich zur weiteren Klasse K2 an.

[0082] Fig. 5 zeigt einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0083] Im Operationsmodus des Algorithmus wird nur das ausgewählte Merkmal berechnet und die Klasse K1, K2 als Wahrscheinlichkeit geschätzt.

[0084] Wenn Merkmal > Zentralwert Z2 der Klasse K2, dann wird Klasse 2 ermittelt. Wenn Merkmal <

Zentralwert Z1 der Klasse K1, dann wird Klasse 1 ermittelt.

[0085] Eine Wahrscheinlichkeit für ein Ermitteln von Klasse 2 ist z.B. $W = 1 - D22 / A$, wobei A ein Abstand zwischen dem Zentralwert Z1 der ersten Klasse K1 und dem Zentralwert Z2 der zweiten Klasse K2 ist.

[0086] Fig. 6 zeigt einen Teilaspekt des computerimplementierten Verfahrens zum Bereitstellen des Algorithmus zur Klassifikation des Betriebszustands der technischen Komponente gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0087] Die Wahrscheinlichkeitswerte W1, W2 und W3 geben dabei die Wahrscheinlichkeit einer Klassifizierung eines Merkmals M zur ersten Klasse K1 oder der weiteren Klasse K2 an.

[0088] Fig. 7 zeigt ein Ablaufdiagramm eines computerimplementierten Verfahrens zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0089] Das Verfahren umfasst ein Bereitstellen S1' von Sensordaten D einer technischen Komponente TK.

[0090] Ferner umfasst das Verfahren ein Klassifizieren S2' eines ersten Betriebszustands BZ1 oder eines zweiten Betriebszustands BZ2 der technischen Komponente TK durch einen Algorithmus unter Verwendung mindestens eines ausgewählten Merkmals der die erste Klasse K1 repräsentierenden Sensordaten D und der die weitere Klasse K2 repräsentierenden Sensordaten D.

[0091] Das Verfahren umfasst darüber hinaus ein Ausgeben S3' eines den ersten Betriebszustand BZ1 oder den zweiten Betriebszustand BZ2 der technischen Komponente TK repräsentierenden Klassifikationsergebnisses.

[0092] Alternativ oder zusätzlich kann beispielsweise ein zwischen dem ersten Betriebszustand BZ1 und dem zweiten Betriebszustand BZ2 liegender weiterer Betriebszustand klassifiziert werden.

[0093] Zum Klassifizieren S2' eines ersten Betriebszustands BZ1 oder eines zweiten Betriebszustands BZ2 der technischen Komponente TK wird das Merkmal einer berechneten vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen M1-M8 mit einem extremen, insbesondere einem höchsten oder geringsten, Score-Wert SC verwendet, wobei der Score-Wert SC, insbesondere ein Silhouettenkoeffizient, ein Ähnlichkeitsmaß des Merkmals der ersten Klasse K1 im Vergleich zur weiteren Klasse K2 angibt.

[0094] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung eines Systems 1 zur Klassifikation eines Betriebszustands einer technischen Komponente gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0095] Das System 1 umfasst zumindest einen Sensor 12 zum Bereitstellen von Sensordaten D einer technischen Komponente TK.

[0096] Ferner umfasst das System eine Recheneinrichtung 14 zum Klassifizieren S2' eines ersten Betriebszustands BZ1 oder eines zweiten Betriebszustands BZ2 der technischen Komponente TK unter Verwendung eines vorberechneten Merkmals M1-M8 der die erste Klasse K1 repräsentierenden Sensordaten D und der die weitere Klasse K2 repräsentierenden Sensordaten D, wobei die Recheneinrichtung 14 dazu eingerichtet ist, ein den ersten Betriebszustand BZ1 oder den zweiten Betriebszustand BZ2 der technischen Komponente TK repräsentierendes Klassifikationsergebnis auszugeben.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- DE 102010025851 A1 [0005]

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zum Bereitstellen eines Algorithmus zur Merkmalsselektion & Klassifikation eines Betriebszustands (BZ) einer technischen Komponente (TK), mit den Schritten:

Empfangen (S1) eines ersten Datensatzes (DS1) von, eine erste Klasse (K1) repräsentierenden, einer technischen Komponente (TK) oder einem ersten Betriebszustand (BZ1) der technischen Komponente (TK) zugehörigen Sensordaten (D) und zumindest eines weiteren Datensatzes (DS2) von, zumindest eine weitere Klasse (K2) repräsentierenden, einer technischen Komponente (TK) oder einem zweiten Betriebszustand (BZ2) der technischen Komponente (TK) zugehörigen Sensordaten (D);

Berechnen (S2) einer vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die zumindest eine weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D);

Berechnen (S3) eines Score-Werts (SC) der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D) unter Verwendung eines Silhouettenkoeffizienten, welcher ein Ähnlichkeitsmaß von Merkmalswerten der unterschiedlichen Klassen zueinander angibt; und

Auswahl (S4) zumindest eines der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) unter Verwendung des berechneten Score-Werts (SC).

2. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Berechnen (S3) des Score-Werts (SC) der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D) unter Verwendung eines mittleren Abstands (D11) von Merkmalswerten (MW) der ersten Klasse (K1) zu einem Zentralwert (Z1) der ersten Klasse (K1) und eines mittleren Abstands (D12) von Merkmalswerten (MW) der ersten Klasse (K1) zu einem Zentralwert (Z2) einer nächstgelegenen Klasse (K2) und unter Verwendung eines mittleren Abstands (D22) von Merkmalswerten (MW) der weiteren Klasse (K2) zu einem Zentralwert (Z2) der weiteren Klasse (K2) und eines mittleren Abstands (D21) von Merkmalswerten (MW) der weiteren Klasse (K2) zu einem Zentralwert (Z1) der ersten Klasse (K1) durchgeführt wird.

3. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Merkmal der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) ein statistisches Merkmal, ein Merkmal aus dem Zeitbereich oder ein Merkmal aus dem Frequenzbereich

ist, und wobei das Merkmal mit einem extremen, insbesondere einem höchsten oder geringsten, Score-Wert (SC) ausgewählt wird, wobei der Score-Wert (SC), insbesondere des Silhouettenkoeffizienten, ein Ähnlichkeitsmaß des Merkmals der ersten Klasse (K1) im Vergleich zur zumindest einen weiteren Klasse (K2) angibt.

4. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die vorgegebene Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die zumindest einen weiteren Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D) in einem Zeit- und/oder Frequenzbereich berechnet werden.

5. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die technische Komponente (TK) ein Werkzeug, eine mechanische und/oder elektrische Komponente (TK) eines technischen Systems, insbesondere einer Maschine, ist und wobei der Betriebszustand (BZ) einen aktiven und einen inaktiven Zustand und/oder einen normalen und einen abnormalen Zustand aufweist.

6. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Score-Wert (SC) der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die zumindest eine weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D) durch Bildung der Summe aus einem ersten Quotienten und zumindest einem weiteren Quotienten berechnet wird, wobei der erste Quotient eine Eigenschaft der ersten Klasse (K1) repräsentiert, und wobei der weitere Quotient eine Eigenschaft der zumindest einen weiteren Klasse (K2) repräsentiert.

7. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 6, wobei der erste Quotient der mittlere Abstand (D12) von Merkmalswerten (MW) der ersten Klasse (K1) zu einem Zentralwert (Z2) der zumindest einen weiteren Klasse (K2) abzüglich dem mittleren Abstand (D11) von Merkmalswerten (MW) der ersten Klasse (K1) zu einem Zentralwert (Z1) der ersten Klasse (K1), dividiert durch einen Maximalwert des mittleren Abstands (D12) von Merkmalswerten (MW) der ersten Klasse (K1) zu einem Zentralwert (Z2) der zumindest einen weiteren nächstgelegenen Klasse (K2) und des mittleren Abstands (D11) von Merkmalswerten (MW) der ersten Klasse (K1) zu einem Zentralwert (Z1) der ersten Klasse (K1) ist.

8. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei der weitere Quotient der mittlere (D21) Abstand von Merkmalswerten (MW)

der zumindest einen weiteren Klasse (K2) zu einem Zentralwert (Z1) der ersten Klasse (K1) abzüglich des mittleren Abstands (D22) von Merkmalswerten (MW) der zumindest einen weiteren Klasse (K2) zu einem Zentralwert (Z2) der zumindest einen weiteren Klasse (K2), dividiert durch einen Maximalwert des mittleren Abstands (D21) von Merkmalswerten (MW) der zumindest einen weiteren Klasse (K2) zu einem Zentralwert (Z1) der ersten Klasse (K1) und des mittleren Abstands (D22) von Merkmalswerten (MW) der zumindest einen weiteren Klasse (K2) zu einem Zentralwert (Z2) der weiteren Klasse (K2) ist.

9. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Sensordaten (D) durch einen Körperschallsensor, einen Beschleunigungssensor, einen Ultraschallsensor, einen Luftschallsensor und/oder einen Vibrationssensor bereitgestellt werden.

10. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die berechneten Merkmale (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die zumindest eine weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D) gegen einen Referenzwert jedes der vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) normiert werden.

11. Computerimplementiertes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Zentralwert (Z1) der ersten Klasse (K1) aus dem Mittelwert der Merkmale (M1-M8) der ersten Klasse (K1) und der Zentralwert (Z2) der zumindest einen weiteren Klasse (K2) aus dem Mittelwert der Merkmale (M1-M8) der zumindest einen weiteren Klasse (K2) berechnet werden.

12. Computerimplementiertes Verfahren zur Klassifikation eines Betriebszustands (BZ) einer technischen Komponente (TK), mit den Schritten: Bereitstellen (S1') von Sensordaten (D) einer technischen Komponente (TK); Klassifizieren (S2') eines ersten Betriebszustands (BZ1) oder eines zweiten Betriebszustands (BZ2) der technischen Komponente (TK) durch einen Algorithmus unter Verwendung eines vorberechneten Merkmals (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die zumindest eine weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D); und Ausgeben (S3') eines den ersten Betriebszustand (BZ1) oder den zweiten Betriebszustand (BZ2) der technischen Komponente (TK) oder eines zwischen dem ersten Betriebszustand (BZ1) und dem zweiten Betriebszustand (BZ2) liegenden weiteren Betriebszustand repräsentierenden Klassifikationsergebnisses.

13. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 12, wobei zum Klassifizieren (S2') eines

ersten Betriebszustands (BZ1) oder eines zweiten Betriebszustands (BZ2) der technischen Komponente (TK) das Merkmal (M1-M8) einer berechneten vorgegebenen Mehrzahl von Merkmalen (M1-M8) mit einem extremen, insbesondere einem höchsten oder geringsten, Score-Wert (SC) verwendet wird, wobei der Score-Wert (SC), insbesondere ein Silhouettenkoeffizient, ein Ähnlichkeitsmaß des Merkmals (M1-M8) der ersten Klasse (K1) im Vergleich zur zumindest einen weiteren Klasse (K2) angibt.

14. System (1) zur Klassifikation eines Betriebszustands (BZ) einer technischen Komponente (TK), aufweisend:

zumindest einen Sensor (12) zum Bereitstellen von Sensordaten (D) einer technischen Komponente (TK); und einer Recheneinrichtung (14) zum Klassifizieren (S2') eines ersten Betriebszustands (BZ1) oder eines zweiten Betriebszustands (BZ2) der technischen Komponente (TK) unter Verwendung eines vorberechneten Merkmals (M1-M8) der die erste Klasse (K1) repräsentierenden Sensordaten (D) und der die zumindest einen weitere Klasse (K2) repräsentierenden Sensordaten (D), wobei die Recheneinrichtung (14) dazu eingerichtet ist, ein den ersten Betriebszustand (BZ1) oder den zweiten Betriebszustand (BZ2) der technischen Komponente (TK) repräsentierenden Klassifikationsergebnis auszugeben.

15. Computerprogramm mit Programmcode, um zumindest eines der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 durchzuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird.

16. Computerlesbarer Datenträger mit Programmcode eines Computerprogramms, um zumindest eines der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 durchzuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

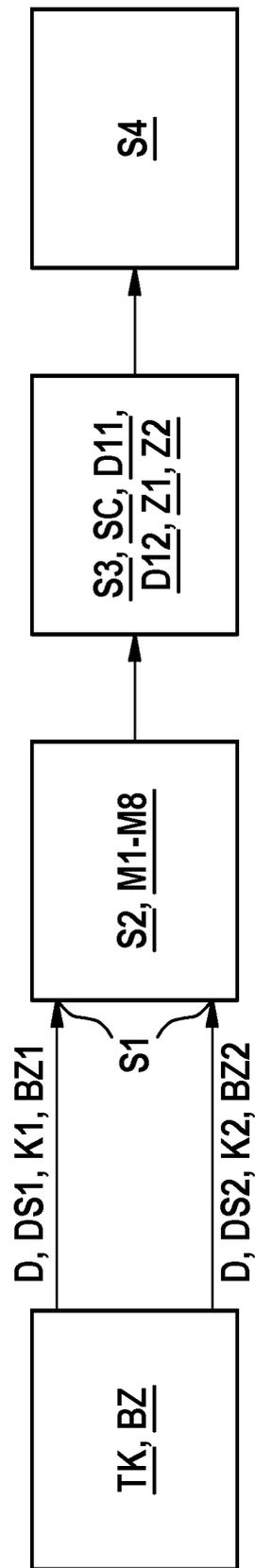


Fig. 1

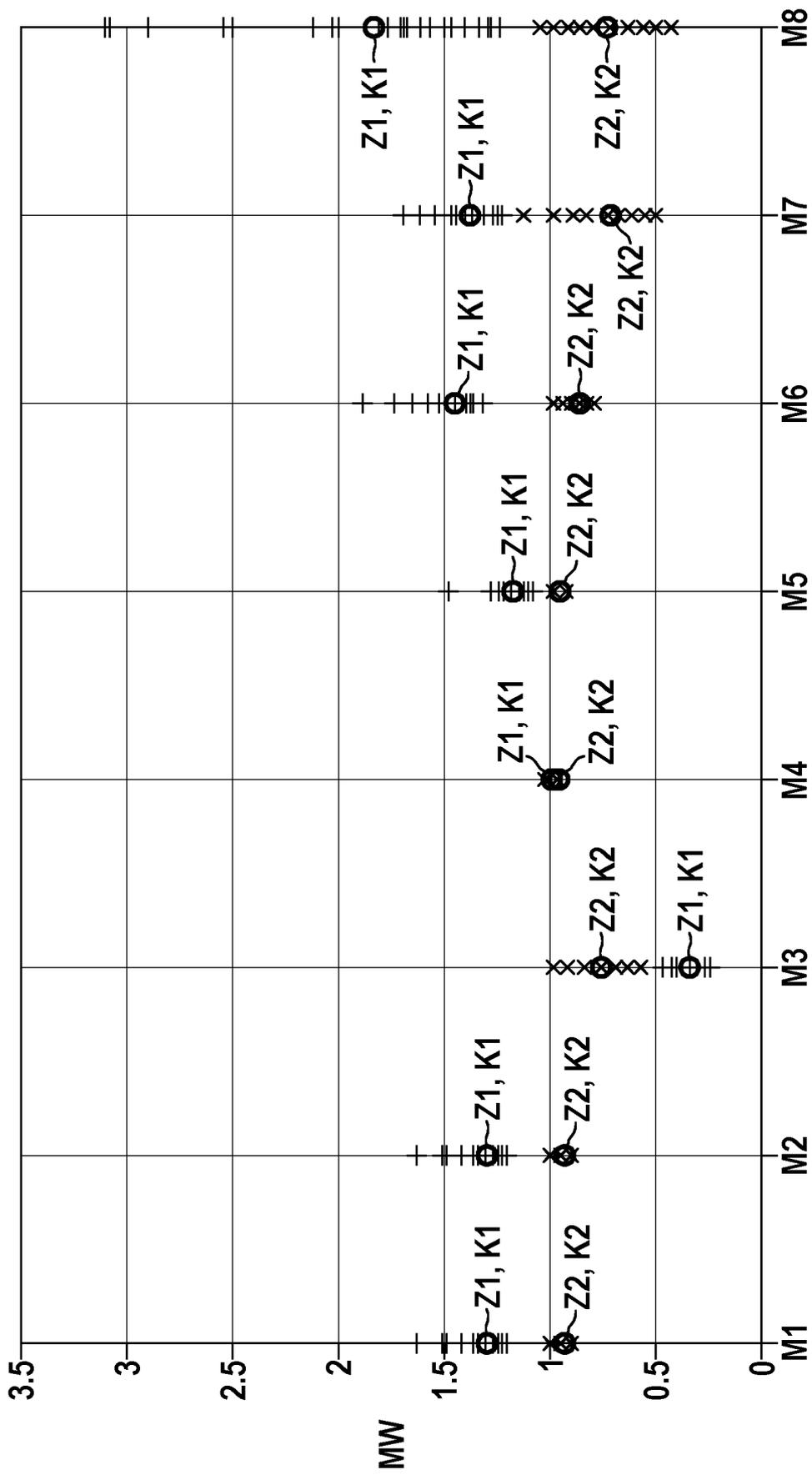


Fig. 2

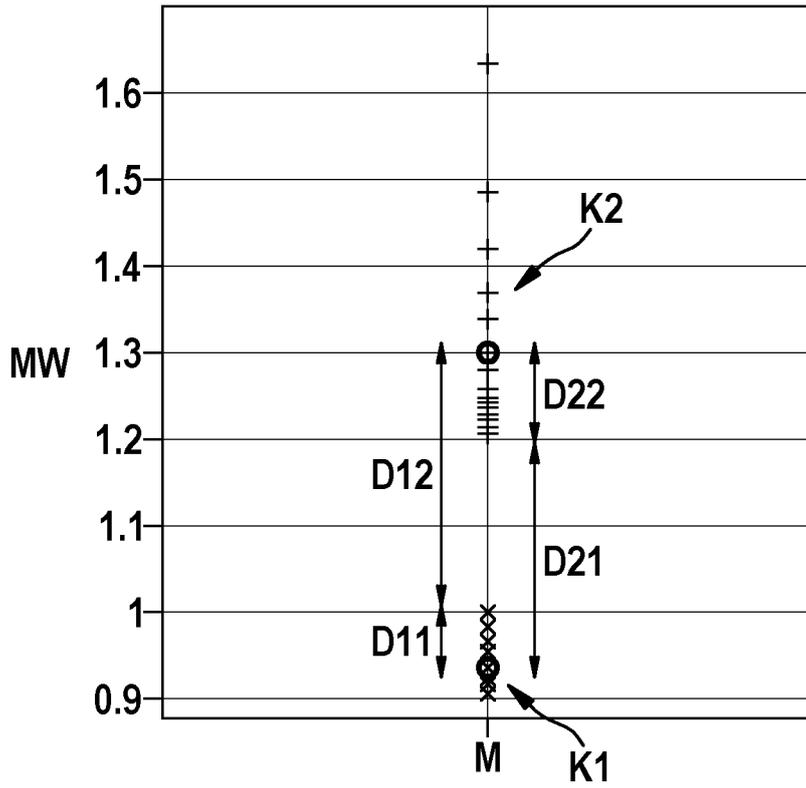


Fig. 3

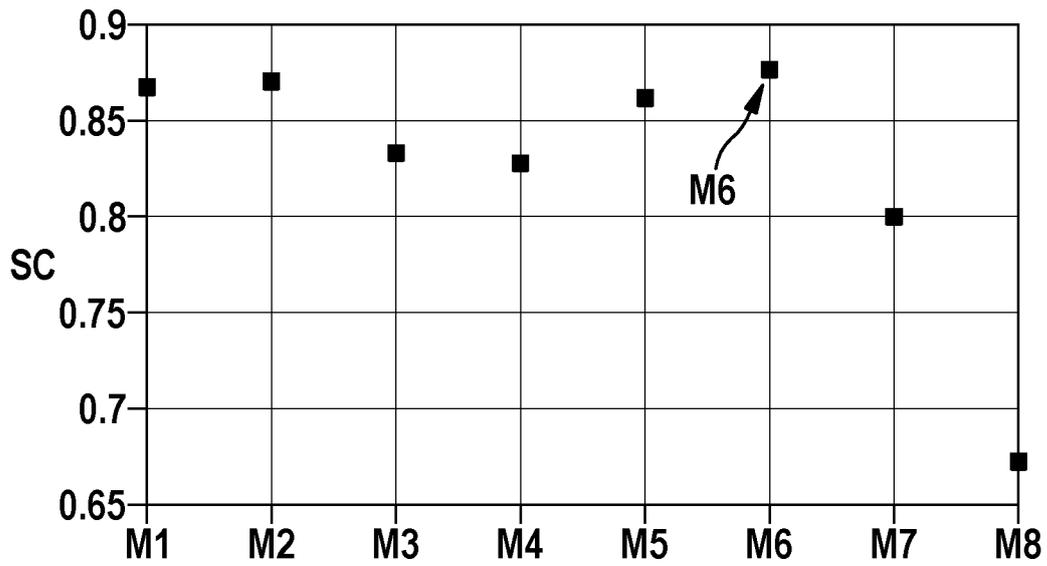


Fig. 4

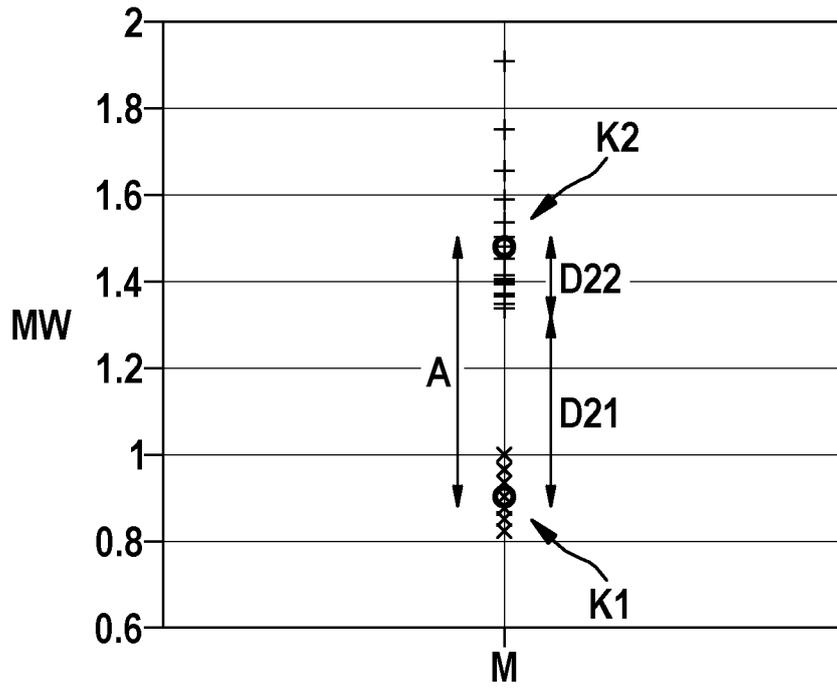


Fig. 5

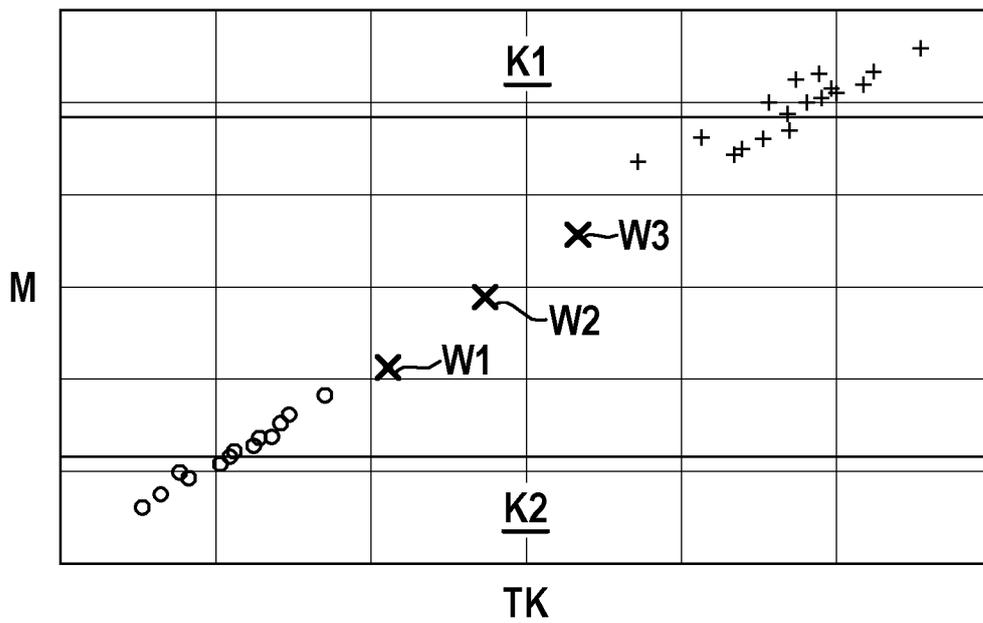


Fig. 6

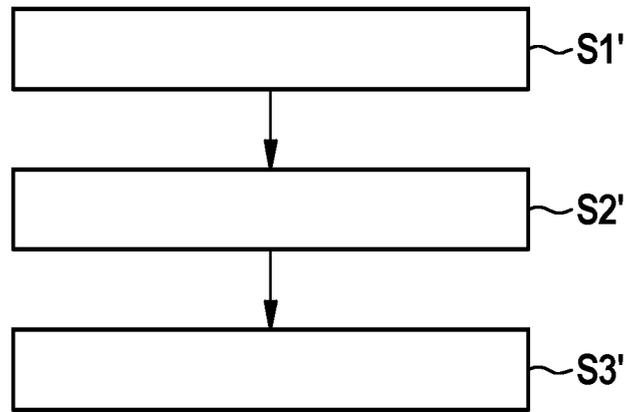


Fig. 7

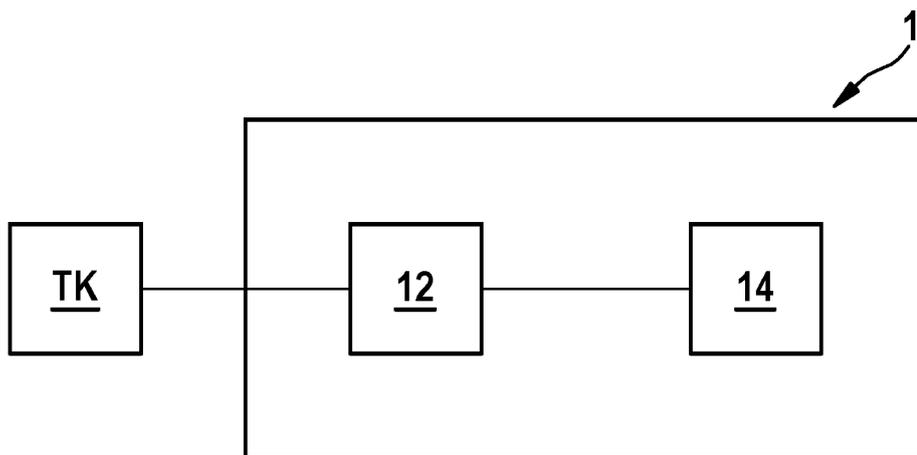


Fig. 8