

(19)



(11)

EP 4 556 640 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.05.2025 Patentblatt 2025/21

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E02F 9/12 ^(2006.01) **E02F 9/26** ^(2006.01)
G01D 18/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **24212250.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E02F 9/264; E02F 9/123

(22) Anmeldetag: **12.11.2024**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH MA MD TN

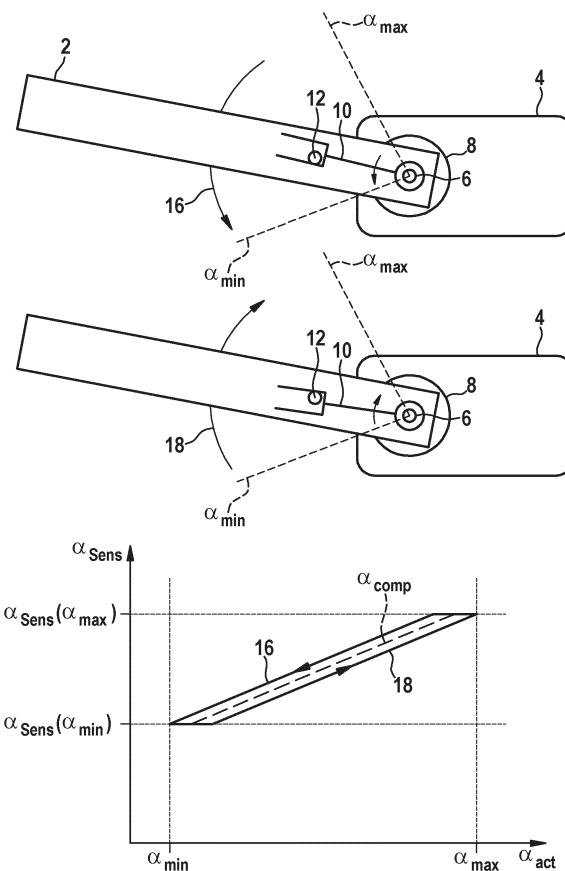
(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Bender, Frank**
70190 Stuttgart (DE)
• **Ehlers, Benjamin**
89073 Ulm (DE)

(30) Priorität: **20.11.2023 DE 102023211550**

(54) VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINES KOMPENSIERTEN WINKELS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines kompensierten Winkels (α_{comp}) einer relativ zu einer Referenzkomponente (4) zwischen einer ersten und einer zweiten Endlage schwenkbaren Komponente (2) einer Arbeitsmaschine, wobei zwischen der ersten und der zweiten Endlage eine bekannte Endlagen-Winkeldifferenz besteht, wobei ein Winkelsensor (8) vorgesehen ist, der mit der Komponente (2) und der Referenzkomponente (4) gekoppelt ist und der dazu eingerichtet ist, Sensorwinkelwerte der Komponente relativ zur Referenzkomponente zu messen. Das Verfahren umfasst eine Kalibrierungsphase, einschließlich Schwenken (110, 16) der Komponente (2) in die erste Endlage und Erfassen eines ersten Sensorwinkelwerts ($\alpha_{Sens}(\alpha_{min})$) in der ersten Endlage, Schwenken (120, 18) der Komponente (2) in die zweite Endlage und Erfassen eines zweiten Sensorwinkelwerts ($\alpha_{Sens}(\alpha_{min})$) in der zweiten Endlage, und Bestimmen (130) eines Hysteresewinkelwerts aus der Sensor-Winkeldifferenz zwischen dem ersten und dem zweiten Sensorwinkelwert und aus der Endlagen-Winkeldifferenz, und eine Einsatzphase, einschließlich Erfassen (140) eines Sensorwinkelwerts für einen Bestimmungszeitpunkt, Bestimmen (150), ob zum Bestimmungszeitpunkt eine positive oder eine negative Schwenkrichtung der Komponente vorliegt, und Bestimmen (160) des kompensierten Winkels (α_{comp}) durch Korrigieren des Sensorwinkelwerts am Bestimmungszeitpunkt um eine von dem Hysteresewinkelwert und der Schwenkrichtung abhängige Winkelkorrektur.

**Fig. 1**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines kompensierten Winkels, eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung und eine Arbeitsmaschine.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Bei mobilen Arbeitsmaschinen, z.B. einem Bagger, einem Radlader, einem Teleskophandler oder einem Kran, ist es häufig von Interesse, die Lage eines Elements (z.B. des Oberwagens eines Baggers relativ zu einem Weltkoordinatensystem) oder die Stellung einzelner Gelenke (z.B. Ausleger-, Stiel-, Löffelgelenk) zu ermitteln. Die Kenntnis dieser Größen ist beispielsweise nützlich, um dem Bediener eine genaue Rückmeldung über die Stellung des Arbeitswerkzeuges zu geben oder auch zur Realisierung von Steuerungs- oder Regelungsalgorithmen, wie z.B. zur Arbeitsraumbegrenzung oder einer Koordinatensteuerung. Zur Bestimmung der Lage eines Elements können beispielsweise Verfahren zur Hubmessung (z.B. magnetostriktiv) an einem Zylinder, zur Gelenkwinkelmessung (z.B. mittels eines Potentiometers oder eines optischen oder magnetischen Encoders) oder mittels Inertialsensorik verwendet werden.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zur Bestimmung eines kompensierten Winkels, eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung und eine Arbeitsmaschine mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0004] Die Erfindung bedient sich der Maßnahme, mittels einer Kalibrierungsphase und einer Einsatzphase einen kompensierten Winkel einer relativ zu einer Referenzkomponente zwischen einer ersten und einer zweiten Endlage schwenkbaren Komponente einer Arbeitsmaschine zu bestimmen, wobei Sensorwinkelwerte mit einem Winkelsensor, der mit der Komponente und der Referenzkomponente gekoppelt ist, gemessen bzw. erfasst werden. In der Kalibrierungsphase wird die Komponente nacheinander in die erste und die zweite Endlage geschwenkt sowie entsprechende Sensorwinkelwerte erfasst, aus denen ein Hysteresewinkelwert bestimmt wird. In der Einsatzphase werden ein Sensorwinkelwert und eine Schwenkrichtung für einen Bestimmungszeitpunkt erfasst bzw. bestimmt und der kompensierte Winkel durch Korrigieren des Sensorwinkelwerts um eine von dem Hysteresewinkelwert und der Schwenkrichtung abhängige Winkelkorrektur bestimmt. Durch das erfindungsgemäße Vorgehen, d.h. insbesondere das Berücksichtigen des Hysteresewinkelwerts und der Schwenkrichtung bei der Winkelkorrektur, können konsistente Werte für den kompensierten Winkel bestimmt werden, in denen Fehler kompensiert sind, die durch ein Spiel der mechanischen Kopplung des Winkelsensors an die Komponente und die Referenzkomponente bedingt sind. Insbesondere ist der kompensierte Winkel unabhängig von der Schwenkrichtung.

[0005] Gemäß einer Ausgestaltung wird bei positiver Schwenkrichtung ein erster Bruchteil des Hysteresewinkelwerts zum Sensorwinkelwert am Bestimmungszeitpunkt addiert und bei negativer Schwenkrichtung ein zweiter Bruchteil des Hysteresewinkelwerts vom Sensorwinkelwert am Bestimmungszeitpunkt subtrahiert. Insbesondere ist die Summe aus erstem und zweitem Bruchteil des Hysteresewinkelwerts gleich dem Hysteresewinkelwert. Der erste und der zweite Bruchteil des Hysteresewinkelwerts können gleich dem halben Hysteresewinkelwert sein. Entsprechend dieser Ausgestaltung liegt der kompensierte Winkel innerhalb eines durch die Hysterese bestimmten Bandes, z.B. in dessen Mitte.

[0006] Gemäß einer Ausgestaltung wird die Schwenkrichtung basierend auf Sensorwinkelwerten zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten bestimmt wird. Dabei wird die Schwenkrichtung als positiv bestimmt, wenn die Sensorwinkelwerte zwischen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten zunehmen, und als negativ bestimmt, wenn die Sensorwinkelwerte zwischen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten abnehmen. Wenn sich die Sensorwinkelwerte in Richtung größerer Winkel ändern, wird also von einer positiven Schwenkrichtung ausgegangen. Wenn sich die Sensorwinkelwerte in Richtung kleinerer Winkel ändern, wird entsprechend von einer negativen Schwenkrichtung ausgegangen. Diese Ausgestaltung ist einfach zu implementieren, da sie auf bereits vorhanden Größen (Sensorwinkelwerten) basiert.

[0007] Gemäß einer Ausgestaltung wird die Schwenkrichtung basierend auf Messung durch einen vom Winkelsensor verschiedenen Sensor, insbesondere einen Inertialsensor, bestimmt. Dies ist zweckmäßig, da diese Methode von Messungen des Winkelsensors unabhängig ist, insbesondere wirken sich Messfehler nicht sowohl im Sensorwinkel als auch in der Schwenkrichtung aus.

[0008] Gemäß einer Ausgestaltung werden die Schritte der Einsatzphase wiederholt, ohne zwischenzeitliches Durchführen der Kalibrierungsphase durchgeführt. Dieses wiederholte Durchführen der Schritte der Einsatzphase kann insbesondere fortlaufend erfolgen, so dass jeweils neu vorliegende Sensorwinkelwerte kompensiert werden.

[0009] Gemäß einer Ausgestaltung wird die Kalibrierungsphase erneut durchgeführt, um den Hysteresewinkelwert zu aktualisieren. Insbesondere erfolgt die erneute Durchführung der Kalibrierungsphase zu wenigstens einem bestimmten Zeitpunkt und/oder in Reaktion auf wenigstens ein bestimmtes Ereignis und/oder in Reaktion auf eine

entsprechende Eingabe eines Bedieners der Arbeitsmaschine. Mögliche Veränderungen des Hysteresewinkels, etwa aufgrund von Verschleiß können so berücksichtigt werden.

[0010] Eine erfindungsmäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät einer mobilen Arbeitsmaschine, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0011] Eine erfindungsgemäße Arbeitsmaschine weist eine relativ zu einer Referenzkomponente zwischen einer ersten und einer zweiten Endlage schwenkbaren Komponente auf, wobei zwischen der ersten und der zweiten Endlage eine bekannte Endlagen-Winkeldifferenz besteht, wobei ein Winkelsensor vorgesehen ist, der mit der Komponente und der Referenzkomponente (mechanisch) gekoppelt ist und der dazu eingerichtet ist, Sensorwinkel der Komponente relativ zur Referenzkomponente zu messen. Weiter weist die Arbeitsmaschine eine erfindungsgemäße Recheneinheit auf. Die (mechanische) Kopplung kann ein Spiel aufweisen, das zu einer Hysterese in den gemessenen Sensorwinkelwerten führt. Diese Hysterese wird durch das erfindungsgemäße Verfahren berücksichtigt, um eine konsistente Winkelbestimmung zu erreichen.

[0012] Gemäß einer Ausgestaltung weist der Winkelsensor ein fest an der Referenzkomponente angeordnetes Erfassungselement und ein Armelement auf, das an der Referenzkomponente drehbar gelagert ist und mit einem an der Komponente fest angeordneten Mitführelement in Eingriff steht. Ein Spiel kann hier zwischen dem Armelement und dem Mitführelement vorliegen.

[0013] Auch die Implementierung eines erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Computerprogramms oder Computerprogrammprodukts mit Programmcode zur Durchführung aller Verfahrensschritte ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, optische und elektrische Speicher, wie z.B. Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0014] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0015] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0016] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

[0017]

Figur 1 illustriert Drehbewegungen einer Komponente relativ zu einer Referenzkomponente und eine zugehörige Winkelmessung mit einem Winkelsensor.

Figur 2 zeigt ein Ablaufdiagramm gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

[0018] Figur 1 illustriert Drehbewegungen bzw. Schwenkbewegungen 16, 18 einer drehbaren Komponente 2 relativ zu einer Referenzkomponente 4 und eine zugehörige Winkelmessung mit einem Winkelsensor 8. Die Komponente 2 ist mittels eines Drehgelenks 6 an der Referenzkomponente 4 angebracht, so dass die Komponente 2 relativ zur Referenzkomponente 4 schwenkbar bzw. drehbar ist. Die Komponente 2 kann z.B. ein Ausleger eines Baggers sein, wobei die Referenzkomponente 4 der Oberwagen des Baggers ist bzw. am Oberwagen fest angebracht ist. Die Drehbewegung bzw. Schwenkbewegung der Komponente wird durch einen Aktuator, z.B. einem Hydraulikzylinder o.Ä., bewirkt (nicht dargestellt). Durch die Winkelmessung soll ein Winkel der Drehung um eine Achse des Drehgelenks 6 der (drehbaren) Komponente 2 relativ zur Referenzkomponente 4 bestimmt werden. Die drehbare Komponente 2 wird vereinfacht auch als Komponente 2 bezeichnet.

[0019] Die Komponente 2 ist zwischen einer ersten Endlage, die einem (tatsächlichen) minimalen Winkel α_{min} entspricht, und einer zweiten Endlage, die einem (tatsächlichen) maximalen Winkel α_{max} entspricht, rotatorisch bewegbar (drehbar) bzw. schwenkbar. Die erste Endlage wird z.B. bei einem weitestmöglich eingefahrenen Hydraulikzylinder eingenommen und die zweite Endlage wird z.B. bei einem weitestmöglich ausgefahrenen Hydraulikzylinder eingenommen. Da die Kinematik bzw. die Geometrie des Aufbaus umfassend die Komponente 2, die Referenzkomponente 4, das Drehgelenk 6 sowie den Aktuator bekannt sind, sind der minimale Winkel α_{min} und der maximale Winkel α_{max} an sich bekannt bzw., da die Richtung, die dem Nullwinkel entspricht (d.h. die Orientierung des entsprechenden Koordinatensystems), beliebig festlegbar ist, ist zumindest die tatsächliche Winkeldifferenz $\alpha_{max} - \alpha_{min}$ dieser beiden Winkel bekannt. Diese Winkeldifferenz wird auch als Endlagen-Winkeldifferenz bezeichnet.

[0020] Es ist ein Winkelsensor 8 vorgesehen, der beispielsweise ein fest an der Referenzkomponente 4 angeordnetes Element, als Erfassungselement bezeichnet, und ein drehbar an der Referenzkomponente 4 angeordnetes Element, als Armelement 10 bezeichnet, aufweist. Das Armelement 8 ist z.B. um eine Achse drehbar, die mit der Achse des Drehgelenks 6 zusammenfällt. Weiterhin steht das Armelement 8 mit einem fest an der schwenkbaren Komponente 4 angeordneten Element, als Mitführelement 12 bezeichnet, in Eingriff, so dass das Armelement 8 von der Komponente 2 mitgedreht bzw. mitgeführt wird. Das Mitführelement 12 ist beispielsweise ein Stift bzw. Pin. Der Winkelsensor 8 misst bzw. erfasst einen Winkel, als Sensorwinkel α_{Sens} bezeichnet, des Armelements 10 relativ zum Erfassungselement. Beispielsweise können das Armelement 10, das Erfassungselement zusammen mit weiteren Elementen des Winkelsensors ein Potentiometer bilden, dessen variabler Widerstand dem Winkelwert entspricht. Der Winkelsensor ist insbesondere dazu eingerichtet, aktuelle Sensorwinkelwerte (d.h. aktuelle Werte für den Sensorwinkel) fortlaufend bzw. in gewissen Zeitabständen, die regelmäßig oder unregelmäßig beabstandet sind, zu bestimmen, etwa auf einem Zeitraster oder mit einer bestimmten Messfrequenz. Der Winkelsensor kann weiter dazu eingerichtet sein, gemessene bzw. bestimmte aktuelle Sensorwinkelwerte an eine elektronische Steuerung (Recheneinheit), z.B. der Arbeitsmaschine, die die schwenkbare Komponente und die Referenzkomponente aufweist, zu übermitteln (nicht dargestellt).

[0021] Zwischen dem Armelement 10 und dem Mitführelement 12 besteht ein Spiel, das zu einer Hysterese in der Winkelmessung durch den Winkelsensor 8 führt. Die resultierende Hysterese-Kurve ist unten in der Figur 1 in einem Diagramm gezeigt, in dem der Sensorwinkelwerte α_{Sens} gegen den tatsächlichen Winkel α_{act} aufgetragen ist. Allgemeiner formuliert besteht ein Spiel, das durch die mechanische Kopplung des Winkelsensors 8 an die Komponente 2 und die Referenzkomponente 4 bedingt ist. Dieses Spiel kann zu einer Hysterese führen.

[0022] Beispielsweise erfolgt eine erste Schwenkbewegung 16 in Richtung kleinerer Winkel (negative Schwenkrichtung), d.h. in der Figur im Uhrzeigersinn, bis die erste Endlage bzw. der tatsächliche minimale Winkel α_{min} erreicht ist. Dabei wird ebenso ein minimaler durch den Winkelsensor gemessener Winkel, d.h. ein minimaler Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(\alpha_{min})$, erreicht. Während der ersten Schwenkbewegung 16 liegt der Stift, d.h. das Mitführelement 12, an einem in Richtung Uhrzeigersinn gelegenen Teil des gabelförmig ausgebildeten Endes des Armelements 10 an.

[0023] Nach Bewegungsumkehr erfolgt eine zweite Schwenkbewegung 18 in Richtung größerer Winkel (positive Schwenkrichtung), d.h. in der Figur entgegen dem Uhrzeigersinn, bis die zweite Endlage bzw. der tatsächliche maximale Winkel α_{max} erreicht ist. Nach einer Übergangsphase liegt der Stift, d.h. das Mitführelement 12, während der zweiten Schwenkbewegung 18 an einem entgegen der Richtung des Uhrzeigersinns gelegenen Teil des gabelförmig ausgebildeten Endes des Armelements 10 an. Dieser Übergang zwischen den Teilen, an denen das Mitführelement anliegt, d.h. dieses Spiel, führt dazu, dass unmittelbar nach der Bewegungsumkehr der durch den Winkelsensor 8 gemessene Winkel, d.h. der Sensorwinkelwert, zunächst am minimalen Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(\alpha_{min})$ verbleibt. Der Sensorwinkelwert bleibt also zunächst unverändert, obwohl bereits eine Änderung des tatsächlichen Winkels α_{act} erfolgt. Mit Erreichen des tatsächlichen maximalen Winkels α_{max} wird ebenso ein maximaler durch den Winkelsensor gemessener Winkel, d.h. ein maximaler Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(\alpha_{max})$, erreicht.

[0024] Wenn anschließend eine erneute Bewegung in Richtung kleinerer Winkel erfolgt, d.h. im Uhrzeigersinn, tritt auch hier aufgrund des Spiels unmittelbar nach Bewegungsumkehr eine Phase auf, in der der Sensorwinkelwert zunächst am maximalen Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(\alpha_{max})$ verbleibt, obwohl sich der tatsächliche Winkel α_{act} bereits verringert.

[0025] Diese Hysterese führt dazu, dass einem gemessenen Sensorwinkelwert kein eindeutiger Wert für den tatsächlichen Winkel zuordenbar ist, bzw., dass der Sensorwinkelwert ein fehlerbehafteter Wert für den tatsächlichen Winkel ist. Diese Problematik wird durch das erfindungsgemäße Verfahren behoben, in dem ein kompensierter Winkel α_{comp} bestimmt wird.

[0026] Figur 2 zeigt ein Ablaufdiagramm gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, d.h. eines Verfahrens zur Bestimmung eines kompensierten Winkels einer relativ zu einer Referenzkomponente zwischen einer ersten und einer zweiten Endlage schwenkbaren Komponente einer Arbeitsmaschine. Es wird davon ausgegangen, dass ein Winkelsensor vorgesehen ist, der dazu eingerichtet ist, Sensorwinkelwerte zu bestimmen bzw. zu messen. Dies entspricht der in Figur 1 dargestellten Anordnung. Das Verfahren kann z.B. durch eine elektronische Steuerung (bzw. Recheneinheit) der Arbeitsmaschine durch Ausführen eines entsprechenden Computerprogramms (Winkelkompensations-Programm) implementiert werden. Die elektronische Steuerung ist insbesondere auch dazu eingerichtet, einen Aktuator, der die relative Schwenkbewegung der Komponente zur Referenzkomponente bewirkt, zu steuern (z.B. durch Ausführen eines entsprechenden Aktuator-Steuerprogramms). Der Winkelsensor übermittelt dabei, wie oben erläutert, gemessene aktuelle Sensorwinkelwerte an die elektronische Steuerung. Durch die elektronische Steuerung mit dem Verfahren bestimmte kompensierte Winkel können von der elektronischen Steuerung für Steuerungsaufgaben weiterverwendet werden.

[0027] Das Verfahren umfasst eine Kalibrierungsphase (Schritte 110 bis 130) und eine Einsatzphase (Schritte 140 bis 160).

[0028] In Schritt 110 wird zunächst die erste Endlage angefahren (durch entsprechendes Ansteuern des Aktuators), die z.B. dem tatsächlichen minimalen Winkel α_{min} entspricht. Dies entspricht in etwa der ersten Schwenkbewegung 16 in Figur 1. Der vom Winkelsensor bestimmte zugehörige Sensorwinkelwert in der ersten Endlage wird erfasst und als erster bzw. minimaler Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(\alpha_{min})$ bezeichnet. Es gilt dann:

$$\alpha_{Sens}(\alpha_{min}) = \alpha_{min} + \alpha_{down}.$$

[0029] Die Abweichung des ersten bzw. minimalen Sensorwinkelwerts vom tatsächlichen minimalen Winkel wird als erster Versatzwinkel α_{down} bezeichnet. Der im Allgemeinen von null verschiedene erste Versatzwinkel ist wie erläutert durch das Spiel bedingt. Weiter kann der Versatzwinkel eine systematische Abweichung einschließen (insbesondere bedingt durch die Festlegung des Nullwinkels).

[0030] Anschließend wird in Schritt 120 die zweite Endlage angefahren (durch entsprechendes Ansteuern des Aktuators), die z.B. dem tatsächlichen maximalen Winkel α_{max} entspricht (klarerweise könnte ebenso umgekehrt vorgegangen werden, d.h. zunächst der maximale Winkel angefahren werden und anschließend der minimale Winkel angefahren werden). Der vom Winkelsensor bestimmte zugehörige Sensorwinkelwert wird erfasst und als zweiter bzw. maximaler Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(\alpha_{max})$ bezeichnet. Es gilt dann:

$$\alpha_{Sens}(\alpha_{max}) = \alpha_{max} + \alpha_{up}.$$

[0031] Die Abweichung des minimalen Sensorwinkelwerts vom tatsächlichen maximalen Winkel wird als zweiter Versatzwinkel α_{up} bezeichnet. Der im Allgemeinen von null verschiedene zweite Versatzwinkel ist durch das genannte Spiel bedingt (sowie gegebenenfalls durch die systematische Abweichung).

[0032] In Schritt 130 wird ein Hysteresewinkelwert α_{hyst} bestimmt. Insbesondere wird der Hysteresewinkelwert α_{hyst} als die Differenz (als Sensor-Winkeldifferenz bezeichnet) zwischen dem ersten und dem zweiten Versatzwinkel unter Verwendung der obigen Gleichungen bestimmt:

$$\alpha_{hyst} = \alpha_{down} - \alpha_{up} = [\alpha_{Sens}(\alpha_{min}) - \alpha_{min}] - [\alpha_{Sens}(\alpha_{max}) - \alpha_{max}].$$

[0033] Dies kann umformuliert werden zu:

$$\alpha_{hyst} = [\alpha_{Sens}(\alpha_{min}) - \alpha_{Sens}(\alpha_{max})] - [\alpha_{min} - \alpha_{max}].$$

[0034] In dieser Gleichung für den Hysteresewinkelwert α_{hyst} ist der erste Ausdruck (Sensor-Winkeldifferenz) aus gemessenen Sensorwinkelwerten bestimmbar und der zweite Ausdruck (Endlagen-Winkeldifferenz) ist aus der Kinematik der betrachteten Komponenten bekannt. Der Hysteresewinkelwert wird entsprechend als Sensor-Winkeldifferenz minus Endlagen-Winkeldifferenz bestimmt. Die eventuell vorhandene systematische Abweichung fällt aus dem zweiten Ausdruck wegen der Differenz heraus. Der Hysteresewinkelwert α_{hyst} wird in der nachfolgenden Einsatzphase zur Winkelkompensation verwendet.

[0035] In Schritt 140 wird ein Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(t_B)$ für einen Bestimmungszeitpunkt t_B erfasst. Es wird also ein Winkel-Messwert des Winkelsensors erfasst. Der Bestimmungszeitpunkt t_B kann z.B. ein aktueller Zeitpunkt sein.

[0036] In Schritt 150 wird eine Schwenkrichtung der Komponente zum Bestimmungszeitpunkt t_B bestimmt. Es wird also bestimmt, ob sich die Komponente in Richtung größerer Winkel oder in Richtung kleinerer Winkel dreht. Die Drehung in Richtung größerer Winkel wird als positive Schwenkrichtung bezeichnet. Die Drehung in Richtung kleinerer Winkel wird als negative Schwenkrichtung bezeichnet.

[0037] Die Schwenkrichtung kann z.B. durch Vergleich aufeinanderfolgender Sensorwinkelwerte (durch den Winkelsensor gemessen) bestimmt werden. Etwa werden Sensorwinkelwerte $\alpha_{Sens}(t_k)$ an aufeinanderfolgenden Zeitpunkten t_k erfasst, wobei k eine ganze Zahl ist und wobei die Zeitpunkte beispielsweise regelmäßig beabstandet sind ($t_{k+1} = t_k + \Delta t$, mit konstantem Δt). Es gilt dann, dass eine positive Schwenkrichtung vorliegt, wenn gilt:

$$\alpha_{Sens}(t_k) > \alpha_{Sens}(t_{k-1}).$$

[0038] Eine negative Schwenkrichtung liegt vor, wenn gilt:

$$\alpha_{Sens}(t_k) < \alpha_{Sens}(t_{k-1}).$$

[0039] Der Bestimmungszeitpunkt t_B ist insbesondere einer der aufeinanderfolgenden Zeitpunkte t_k .

[0040] Neben dem Vergleich aufeinanderfolgender Sensorwinkelwerte sind auch andere Methoden denkbar, um die Schwenkrichtung zu bestimmen. Etwa eine Auswertung von Messwerten eines oder mehrerer anderer Sensoren, z.B. Inertialsensoren. Auch Steuersignale, etwa für den Aktuator, können dazu ausgewertet werden.

[0041] In Schritt 160 wird der kompensierte Winkel α_{comp} bestimmt. Dabei erfolgt eine Korrektur des Sensorwinkelwerts

$\alpha_{Sens}(t_B)$ zum Bestimmungszeitpunkt t_B um eine Winkelkorrektur α_{korrr} , die von dem Hysteresewinkelwert α_{hyst} und der Schwenkrichtung S abhängig ist, es gilt also $\alpha_{korrr} = \alpha_{korrr}(\alpha_{hyst}, S)$, wobei S z.B. die Werte "pos" für die positive Schwenkrichtung und "neg" für die negative Schwenkrichtung annehmen kann. Die Winkelkorrektur wird insbesondere zum Sensorwinkelwert addiert:

$$\alpha_{comp}(t_B) = \alpha_{Sens}(t_B) + \alpha_{korrr}(\alpha_{hyst}, S).$$

[0042] Insbesondere ist vorgesehen, den Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(t_B)$ zum Bestimmungszeitpunkt t_B zu korrigieren, indem bei positiver Schwenkrichtung die Hälfte des Hysteresewinkelwerts α_{hyst} zum Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(t_B)$ addiert wird und bei negativer Schwenkrichtung die Hälfte des Hysteresewinkelwerts α_{hyst} vom Sensorwinkelwert $\alpha_{Sens}(t_B)$ subtrahiert wird, um den kompensierten Winkel α_{comp} zu erhalten. Der kompensierte Winkel α_{comp} bewegt sich dann in der Mitte zwischen den Hysteresenästen, wie in Figur 1 dargestellt.

[0043] Mit dieser Korrektur, bei der der halbe Hysteresewinkelwert addiert oder subtrahiert wird, gilt bei positiver Schwenkrichtung:

$$\alpha_{comp}(t_B) = \alpha_{Sens}(t_B) + \alpha_{korrr}(\alpha_{hyst}, pos) = \alpha_{Sens}(t_B) + \alpha_{hyst}/2.$$

[0044] Bei negativer Schwenkrichtung gilt:

$$\alpha_{comp}(t_B) = \alpha_{Sens}(t_B) + \alpha_{korrr}(\alpha_{hyst}, neg) = \alpha_{Sens}(t_B) - \alpha_{hyst}/2.$$

[0045] Allgemeiner kann auch eine andere Korrektur, außer der Addition/Subtraktion des halben Hysteresewinkelwerts gewählt werden. Beispielsweise kann, weiterhin ausgehend von $\alpha_{comp}(t_B) = \alpha_{Sens}(t_B) + \alpha_{korrr}(\alpha_{hyst}, S)$, die Winkelkorrektur als Produkt des Hysteresewinkelwerts α_{hyst} und eines von der Schwenkrichtung abhängigen Faktors $r(S)$ gegeben sein:

$$\alpha_{korrr}(\alpha_{hyst}, S) = r(S) \cdot \alpha_{hyst}.$$

[0046] Dabei ist etwa der Faktor $r(S)$ bei positiver Schwenkrichtung gleich einer Konstante g (d.h. $r(pos) = g$) und bei negativer Schwenkrichtung gleich eins minus die Konstante g (d.h. $r(neg) = 1 - g$). Die Konstante g liegt insbesondere zwischen null und eins (d.h. $g \in [0, 1]$). Die Konstante g ist ein (erster) Bruchteil des Hysteresewinkelwerts, der bei positiver Schwenkrichtung zum Sensorwinkelwert addiert wird. Eins minus die Konstante g (d.h. $1 - g$) ist ein (zweiter) Bruchteil des Hysteresewinkelwerts, der bei negativer Schwenkrichtung vom Sensorwinkelwert subtrahiert wird.

[0047] Der kompensierte Winkel α_{comp} kann verwendet werden, um Steuerungsfunktionen der Arbeitsmaschine zu implementieren (z.B. in geeigneten Steuerungsalgorithmen). Auch können Anzeige- oder Hinweisfunktionen, bei denen etwa Informationen zum Winkel auf einer Anzeige der Arbeitsmaschine ausgegeben werden, implementiert werden, um die Bedienung der Arbeitsmaschine zu erleichtern.

[0048] Die Schritte 140 bis 160 der Einsatzphase können wiederholt, insbesondere fortlaufend, für verschiedene Bestimmungszeitpunkte durchgeführt werden, es wird also von Schritt 160 zu Schritt 140 gesprungen. Dabei kann jeweils der gleiche Hysteresewinkelwert verwendet werden, d.h. die Schritte 140 bis 160 der Einsatzphase werden wiederholt, ohne zwischen den Wiederholungen eine Kalibrierungsphase durchzuführen.

[0049] Optional kann in Schritt 170 eine erneute Durchführung der Kalibrierungsphase ausgelöst werden (d.h. es wird zu Schritt 110 gesprungen), um den Hysteresewinkelwert zu aktualisieren. Schritt 170 kann zu bestimmten Zeitpunkten (z.B. regelmäßig) und/oder in Reaktion auf bestimmte Ereignisse (z.B. Start der Arbeitsmaschine) und/oder in Reaktion auf eine entsprechende Eingabe eines Bedieners der Arbeitsmaschine durchgeführt werden. Eine Neubestimmung des Hysteresewinkelwerts ist zweckmäßig, da sich das Spiel der mechanischen Kopplung des Winkelsensors mit der Komponente und der Referenzkomponente mit der Zeit (z.B. bedingt durch Verschleiß) oder auch mit der Temperatur ändern kann.

[0050] Weitergehend kann vorgesehen sein, zu prüfen, ob der Hysteresewinkelwert über einem vorbestimmten Maximalwinkel liegt, eine solche Prüfung kann z.B. im Anschluss an Schritt 130 erfolgen. Wenn dabei festgestellt wird, dass der Hysteresewinkelwert über einem vorbestimmten Maximalwinkel liegt, kann eine Fehlermeldung erzeugt und z.B. auf einer Anzeige der Arbeitsmaschine ausgegeben werden. Eine solche Fehlermeldung kann auch an Steuerungsalgorithmen, übermittelt werden, die den kompensierten Winkel verwenden (etwa um automatische Steuerungsfunktionen zu implementieren), so dass diese in Reaktion darauf etwa nur eine eingeschränkte Funktionalität implementieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines kompensierten Winkels (α_{comp}) einer relativ zu einer Referenzkomponente (4) zwischen einer ersten und einer zweiten Endlage schwenkbaren Komponente (2) einer Arbeitsmaschine, wobei
5 zwischen der ersten und der zweiten Endlage eine bekannte Endlagen-Winkeldifferenz besteht, wobei ein Winkelsensor (8) vorgesehen ist, der mit der Komponente (2) und der Referenzkomponente (4) gekoppelt ist und der dazu eingerichtet ist, Sensorwinkelwerte der Komponente relativ zur Referenzkomponente zu messen, umfassend
eine Kalibrierungsphase, einschließlich
10 Schwenken (110, 16) der Komponente (2) in die erste Endlage und Erfassen eines ersten Sensorwinkelwerts ($\alpha_{Sens}(\alpha_{min})$) in der ersten Endlage;
Schwenken (120, 18) der Komponente (2) in die zweite Endlage und Erfassen eines zweiten Sensorwinkelwerts ($\alpha_{Sens}(\alpha_{min})$) in der zweiten Endlage;
15 Bestimmen (130) eines Hysteresewinkelwerts aus der Sensor-Winkeldifferenz zwischen dem ersten und dem zweiten Sensorwinkelwert und aus der Endlagen-Winkeldifferenz;
und eine Einsatzphase, einschließlich
20 Erfassen (140) eines Sensorwinkelwerts für einen Bestimmungszeitpunkt;
Bestimmen (150), ob zum Bestimmungszeitpunkt eine positive oder eine negative Schwenkrichtung der Komponente vorliegt; und
Bestimmen (160) des kompensierten Winkels (α_{comp}) durch Korrigieren des Sensorwinkelwerts am Bestimmungszeitpunkt um eine von dem Hysteresewinkelwert und der Schwenkrichtung abhängige Winkelkorrektur.
25
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei positiver Schwenkrichtung ein erster Bruchteil des Hysteresewinkelwerts zum Sensorwinkelwert am Bestimmungszeitpunkt addiert wird und bei negativer Schwenkrichtung ein zweiter Bruchteil des Hysteresewinkelwerts vom Sensorwinkelwert am Bestimmungszeitpunkt subtrahiert wird, um den kompensierten Winkel (α_{comp}) zu bestimmen (160).
30
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Summe aus erstem und zweitem Bruchteil des Hysteresewinkelwerts gleich dem Hysteresewinkelwert ist.
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei der erste und der zweite Bruchteil des Hysteresewinkelwerts gleich dem halben Hysteresewinkelwert sind.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Hysteresewinkelwert als Sensor-Winkeldifferenz minus Endlagen-Winkeldifferenz bestimmt wird.
40
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Schwenkrichtung basierend auf Sensorwinkelwerten zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten bestimmt wird (150); wobei die Schwenkrichtung als positiv bestimmt wird, wenn die Sensorwinkelwerte zwischen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten zunehmen, und als negativ bestimmt wird, wenn die Sensorwinkelwerte zwischen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten abnehmen.
45
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Schwenkrichtung basierend auf einer Messung durch einen vom Winkelsensor (8) verschiedenen Sensor, insbesondere einen Inertialsensor, bestimmt wird (150).
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Schritte der Einsatzphase wiederholt ohne zwischenzeitliches Durchführen der Kalibrierungsphase durchgeführt werden.
50
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Kalibrierungsphase erneut durchgeführt wird, um den Hysteresewinkelwert zu aktualisieren; wobei insbesondere die erneute Durchführung der Kalibrierungsphase zu wenigstens einem bestimmten Zeitpunkt und/oder in Reaktion auf wenigstens ein bestimmtes Ereignis und/oder in Reaktion auf eine entsprechende Eingabe eines Bedieners der Arbeitsmaschine erfolgt.
55
10. Recheneinheit umfassend einen Prozessor, die so konfiguriert ist, dass sie das Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche ausführt.

11. Arbeitsmaschine aufweisend eine relativ zu einer Referenzkomponente (4) zwischen einer ersten und einer zweiten Endlage schwenkbaren Komponente (2), wobei zwischen der ersten und der zweiten Endlage eine bekannte Endlagen-Winkeldifferenz besteht, wobei ein Winkelsensor (8) vorgesehen ist, der mit der Komponente (2) und der Referenzkomponente (4) gekoppelt ist und der dazu eingerichtet ist, Sensorwinkelwerte der Komponente relativ zur Referenzkomponente zu messen; weiterhin aufweisend eine Recheneinheit nach Anspruch 10.
12. Arbeitsmaschine nach Anspruch 11, wobei der Winkelsensor (8) ein fest an der Referenzkomponente (4) angeordnetes Erfassungselement und ein Armelement (10) aufweist, das an der Referenzkomponente drehbar gelagert ist und mit einem an der Komponente (2) fest angeordneten Mitführelement (12) in Eingriff steht.
13. Computerprogramm umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren nach Anspruch 1 bis 9 auszuführen.
14. Computerlesbarer Datenträger, auf dem das Computerprogramm nach Anspruch 13 gespeichert ist.

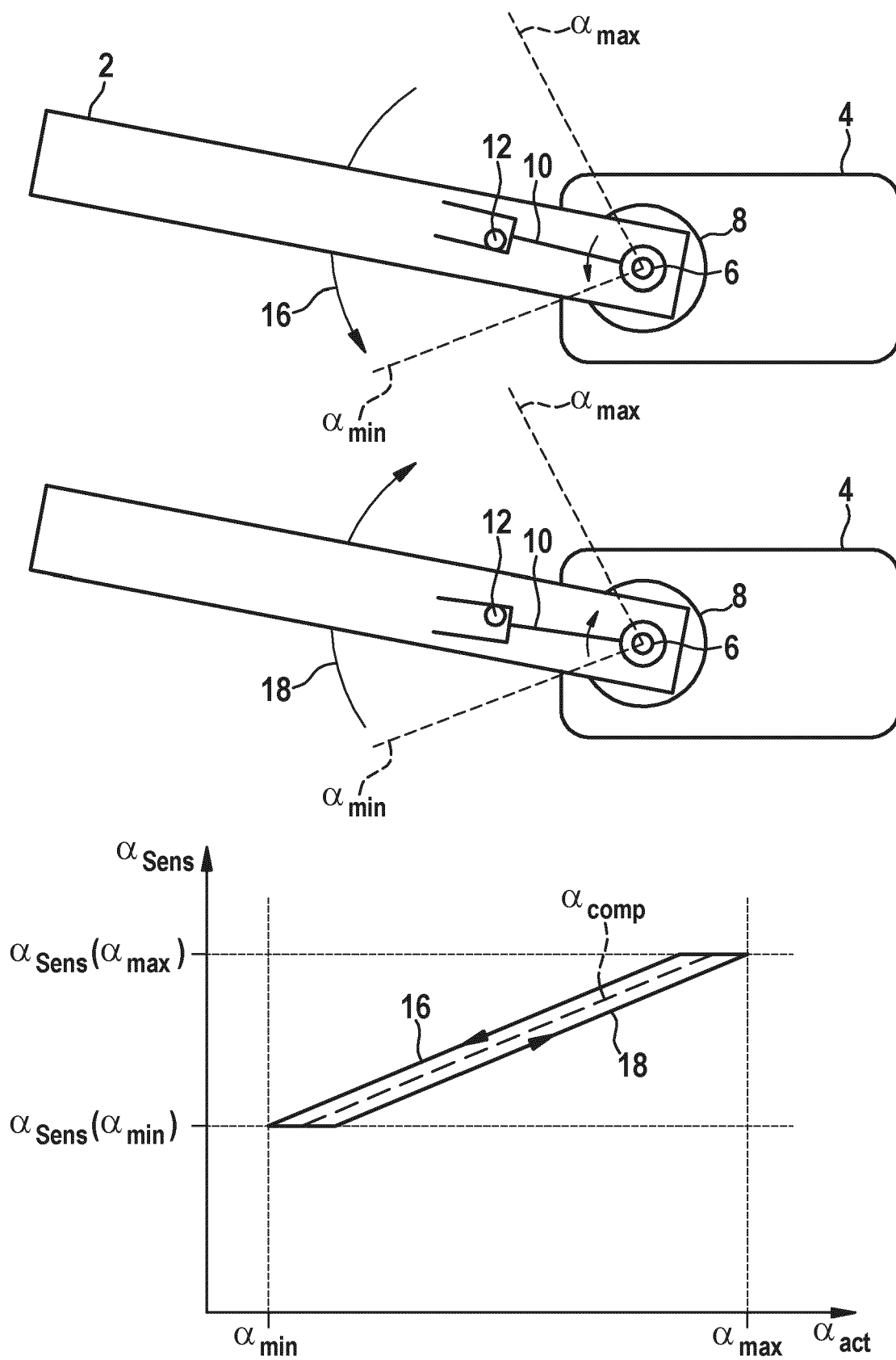


Fig. 1

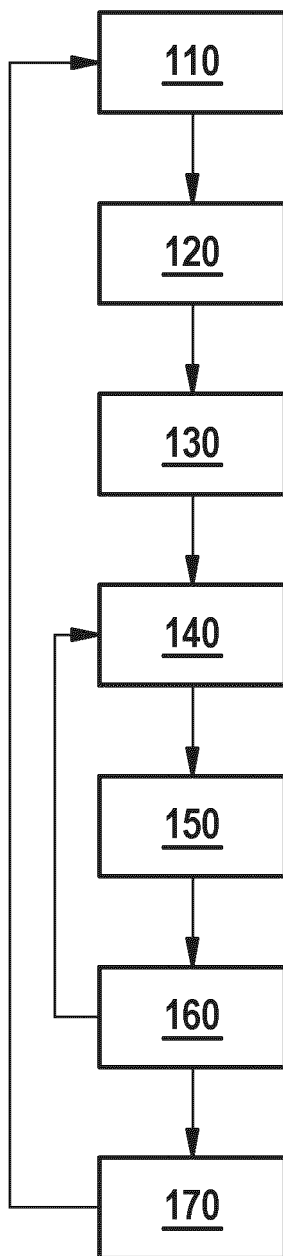


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 21 2250

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 11 547 511 B2 (VERB SURGICAL INC [US]) 10. Januar 2023 (2023-01-10)	1,6-14	INV. E02F9/12 E02F9/26 G01D18/00
Y	* Abbildung 1 bis 25 * * Spalte 29, Zeile 66 - Spalte 30, Zeile 15 * * Spalte 31, Zeile 27 - Zeile 39 * -----	2-5	
Y	EP 1 480 004 B1 (HITACHI LTD [JP]) 20. Februar 2013 (2013-02-20) * Abbildungen 10, 11 * * Absatz [0086] * * Absatz [0095] * -----	2-5	
A	US 2023/018606 A1 (KALANTAR SHAHAB [AU]) 19. Januar 2023 (2023-01-19) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-20 * -----	1,10,13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E02F
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		3. April 2025	Bultot, Coralie
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 24 21 2250

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03 - 04 - 2025

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	US 11547511	B2	10-01-2023	CN	114390916 A	22-04-2022
				CN	118058842 A	24-05-2024
				EP	4013341 A1	22-06-2022
				KR	20220049545 A	21-04-2022
				US	2021045818 A1	18-02-2021
				US	2021045820 A1	18-02-2021
				US	2021045826 A1	18-02-2021
				US	2021045827 A1	18-02-2021
				US	2022354606 A1	10-11-2022
				US	2023117447 A1	20-04-2023
				US	2023346496 A1	02-11-2023
				US	2024390088 A1	28-11-2024
				WO	2021030255 A1	18-02-2021
25	-----					
	EP 1480004	B1	20-02-2013	EP	1480004 A2	24-11-2004
				JP	4260544 B2	30-04-2009
				JP	2004340873 A	02-12-2004
				KR	20040100943 A	02-12-2004
US				2004232908 A1	25-11-2004	
30	-----					
	US 2023018606	A1	19-01-2023	CN	117616178 A	27-02-2024
				EP	4367331 A1	15-05-2024
				JP	2024524546 A	05-07-2024
				US	2023018606 A1	19-01-2023
WO				2023283561 A1	12-01-2023	
35	-----					
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82