

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Dezember 2023 (21.12.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/242147 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G09B 19/24 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/065706

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Juni 2023 (13.06.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 206 024.5
14. Juni 2022 (14.06.2022) DE

(71) Anmelder: **FRONIUS INTERNATIONAL GMBH**
[AT/AT]; Froniusstraße 1, 4643 Pettenbach (AT).

(72) **Erfinder:** **BECIROVIC, Almedin**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT). **ZAUNER, Nikolaus**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT). **POINTNER, Christian**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT). **SCHLOR, Philipp**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT). **KORAK, Gernot**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT). **KLAMERT, Victor**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT). **NAGL, Matthias**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT). **MEHOFER, Christoph**; c/o Fronius International GmbH, Günter Fronius Straße 1, 4600 Wels-Thalheim (AT).

(54) **Title:** WELDING TRAINING ASSEMBLY FOR PERFORMING A VIRTUAL MANUAL WELDING PROCESS

(54) **Bezeichnung:** SCHWEISSSCHULUNGSANORDNUNG ZUR DURCHFÜHRUNG EINES VIRTUELLEN HANDSCHWEISSVORGANGES

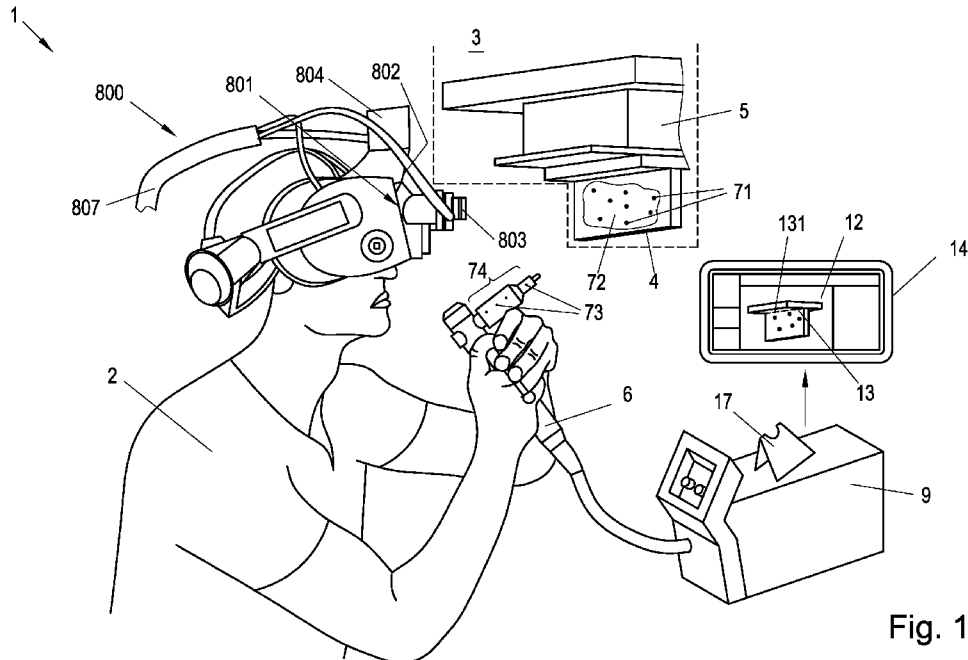


Fig. 1

(57) **Abstract:** In order to specify a welding training assembly (1) which is improved in comparison with the prior art with respect to object recognition and object tracking, in the welding training assembly (1) according to the invention a mixed-reality headset (800) having an RGB camera (803) and having an IR camera (804) is provided, wherein the IR field of vision (810) is greater than the RGB field of vision (809), and IR-reflecting reference markers (71, 73) are arranged on a training workpiece (4) and on a training manual welding torch (6) in a reference pattern (72, 74) which individualizes the training workpiece (4) and the training manual welding torch (6), and are sensed by the IR camera (804) for object recognition and object tracking.

(57) **Zusammenfassung:** Um eine im Vergleich zum Stand der Technik hinsichtlich Objekterkennung und Objektverfolgung verbesser-



WO 2023/242147 A1



(74) **Anwalt: PATENTANWÄLTE PINTER & WEISS OG;**
Prinz-Eugen-Strasse 70, 1040 Wien (AT).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

serte Schweißschulungsanordnung (1) anzugeben, wird in der erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung (1) ein Mixed-Reality-Headset (800) mit einer RGB-Kamera (803) und einer IR-Kamera (804) vorgesehen, wobei das IR-Sichtfeld (810) größer ist als das RGB-Sichtfeld (809), und es werden an einem Schulungs-Werkstück (4) sowie an einem Schulungs-Handscheißbrenner (6) IR-reflektierende Referenzmarker (71, 73) in einem das Schulungs-Werkstück (4) und den Schulungs-Handscheißbrenner (6) individualisierenden Referenzmuster (72, 74) angeordnet und von der IR-Kamera (804) zur Objekterkennung und Objektverfolgung erfasst.

Schweißschulungsanordnung zur Durchführung eines virtuellen Handschweißvorganges

Die gegenständliche Erfindung betrifft eine Schweißschulungsanordnung sowie ein Verfahren zur Durchführung eines virtuellen Handschweißvorganges.

Schweißen, egal ob Gasschmelzschweißen, Autogenschweißen, Lichtbogenhandschweißen, Schutzgasschweißen, Plasmaschweißen oder Laserschweißen, spielt als wichtigstes Fügeverfahren der modernen Produktionstechnik eine wesentliche Rolle in einer Vielzahl von modernen Produktions- und Herstellungsprozessen. Beispielgebend sei auf die Herstellung moderner Fortbewegungsmittel verwiesen, wie von Kraftfahrzeugen (Kfz), Eisenbahnen oder Flugzeugen, was ohne moderne und hochpräzise Schweißtechnik nicht denkbar ist. Wie generell in der modernen Produktionstechnik kommt es auch in der Schweißtechnik vermehrt zum Einsatz zumindest teilautomatisierter Schweißprozesse („Roboterschweißen“), wodurch in vielen Fällen Zeit und Ressourcen gespart werden können.

Trotz des zunehmenden Einsatzes automatisierter Schweißprozesse ist die klassische Form des Schweißens, das sogenannten „Handschweißen“, jedoch nach wie vor wichtiger Bestandteil der unterschiedlichsten technischen Prozesse. Beim Handschweißen führt ein Handschweißer die geforderten Schweißarbeiten durch manuelles Bewegen eines Handschweißbrenners durch. Bekanntermaßen wird Handschweißen je nach Art der eingesetzten Materialien in verschiedene Handschweißverfahren unterteilt, wie beispielsweise das E-Handschweißen (Elektrodenschweißen), das WIG-Schweißen (Wolfram-Inertgas-Schweißen), das MIG-Schweißen (Metall-Inertgas-Schweißen) oder das MAG-Schweißen (Metall-Aktivgas-Schweißen).

Die Motive und Gründe, um anstelle von automatisiertem Roboterschweißen auf Handschweißen zurückzugreifen, sind vielfältig. Oft sind Schweißaufgaben höchst komplex, individuell und einzigartig, sodass eine Automatisierung eines zugehörigen Schweißvorganges nicht mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Auch bei Schweißaufgaben im Außenbereich ist eine Automatisierung vielfach ausgeschlossen. In anderen Fällen kann die Automatisierung eines Schweißvorganges aufgrund eines großen Anfangsaufwandes, der sich unter anderem durch die Programmierung einer Schweißsteuerung ergeben kann, aus wirtschaftlichen Gründen nicht vertretbar sein.

Da sich die Tätigkeiten eines Handschweißers entsprechend den obigen Ausführungen zunehmend auf komplexe und individuelle Schweißaufgaben konzentrieren, und da die stets gestellten Forderungen nach schnelleren, präziseren und günstigeren Schweißvorgängen auch auf den ausführenden Handschweißer durchschlagen, ist unschwer zu erkennen, dass die Ausbildung zum Handschweißer ein fordernder und aufwendiger Prozess ist, der viel

Übungszeit, umfangreiche Betreuung durch erfahrenes Fachpersonal, und insbesondere Verbrauchs- bzw. Übungsmaterial fordert.

Um den Prozess der Ausbildung zum Handschweißer zu unterstützen und zu vereinfachen, um darüber hinaus die Ausbildung für Anfänger möglichst sicher zu gestalten, und auch um Verbrauchs- bzw. Übungsmaterialien zu sparen, wurden sogenannte Schweißschulungsanordnungen zum virtuellen Schweißen entwickelt.

Schweißschulungsanordnungen und das damit ausführbare, sogenannte „virtuelle Schweißen“ erlauben es, komplexe Schweißaufgaben und schwierige Situationen gefahrlos und kostengünstig realitätsnah zu simulieren und immer wieder zu üben. Das Sicherheitsrisiko für Anfänger, das beim Schweißen insbesondere durch heiße und helle Lichtbögen hoch sein kann, verschwindet an der Schweißschulungsanordnungen bzw. am „Schweißsimulator“ zur Gänze. Mithilfe einer Schweißschulungsanordnung zum virtuellen Schweißen können auszubildende Handschweißer an gängigen Schulungs-Werkstücken grundlegende Schweißfertigkeiten/Handfertigkeiten erlernen und trainieren. Darüber hinaus lassen sich durch virtuelles Schweißen teure Verbrauchsmaterialien wie Übungsbauteile aus unterschiedlichen Metallen/Stählen/Legierungen (und deren teils aufwändige Vorbereitung), Draht und/oder Schutzgas und Energie einsparen.

Die Grundbestandteile einer Schweißschulungsanordnung sind ein Schulungs-Handschweißbrenner, ein Schulungs-Werkstück, ein Schweißsimulator und ein elektronisches Display (elektronischer Bildschirm). Im Zuge des virtuellen Schweißvorganges wird der Schulungs-Handschweißbrenner entlang des Schulungs-Werkstücks bewegt. Aus den Bewegungsdaten des Schulungs-Handschweißbrenners und aus eingestellten Schweißparametern, wie Schweißstrom, Drahtvorschubgeschwindigkeit usw., ermittelt der Schweißsimulator eine sogenannte virtuelle Schweißnaht, die am Display dargestellt wird. Die konkrete Ausgestaltung, insbesondere betreffend die Erfassung der Bewegungsdaten des Schulungs-Handschweißbrenners oder die Darstellung der virtuellen Schweißnaht am Display, kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Der Stand der Technik bietet hierzu eine Vielzahl von Ansätzen.

So beschreibt die US 2020/0265750 A1 ein Schweißtrainingssystem, bei welchem am Schulungs-Werkstück und am Schulungs-Handschweißbrenner Marker angebracht sind. Zum Zweck der Objekterkennung und Objektverfolgung, also der Erfassung der Bewegungsdaten, werden die Marker mithilfe von RGB-Kameras, also optischen Kameras, erfasst.

Die EP 2863376 A1 beschreibt Ansätze zur Simulation unterschiedlicher Schweißverfahren (MIG, MAG), wobei die Ergebnisse dieser Simulationen im Rahmen eines Augmented-Reality-Ansatzes („AR“) auf dem Display einer Videobrille dargestellt werden. Dazu wird die

Außenwelt von einer oder mehreren Kameras erfasst, und dem Handschweißer eine sogenannte gemischte Realität (reale und virtuelle Bilder werden einander überlagert) angezeigt.

Die WO 2020/167812 A1 beschreibt einen Schweißhelm, der bei virtuellen Handschweißvorgängen eingesetzt werden kann. Der Schweißhelm umfasst einen elektronischen Bildschirm, also ein elektronisches Display, und mehrere Kameras (RGB (optisch), Wärmebild, Infrarot). Die WO 2020/167812 A1 lehrt überdies Markierungen, die am Schulungs-Werkstück und dem Schulungs-Handschweißbrenner angebracht sind. Die Markierungen werden durch eine optische Kamera Zweck der Objekterkennung und Objektverfolgung erfasst.

Die US 2021/0158724 A1 beschreibt Kamerasensoren mit jeweils mehreren einstellbaren Linsen, Filtern und anderen optischen Komponenten zur Durchführung einer Schweißtrainingssimulation. Es wird eine Analyse der mit den Kamerasensoren erfassten Sensordaten, die unter anderem Marker zur Identifikation von Objekten beschreiben können, offenbart, um aus diesen Sensordaten Position, Orientierung und Bewegung der Schulungs-Werkstücke und der Schulungs-Handschweißbrenner zu bestimmen.

Aus dem Stand der Technik bekannte Schweißschulungsanordnungen, insbesondere wie die in den zitierten Schriften offenbarten Schweißschulungsanordnungen, verwenden zur Objekterkennung und Objektverfolgung bevorzugt RGB-Kameras (optische Kameras), und dabei üblicherweise die gleiche RGB-Kamera, die auch zur Erfassung des Sichtfeldes (teilweise auch als Blickfeld bezeichnet) des Handschweißers herangezogen wird. Aus diesem Umstand ergeben sich mehrere Nachteile. Einerseits können nur Komponenten getrackt werden, also identifiziert und verfolgt werden, die sich im Sichtfeld des Handschweißers (d.h. im Sichtfeld der RGB-Kamera) befinden. Der Trackingbereich ist damit durch die Blickführung des Handschweißers eingeschränkt. Dadurch kann es zu Problemen kommen, wenn der Handschweißer eine Betrachtung eines Schulungswerkstücks aus unterschiedlichen Blickwinkeln vornehmen möchte.

Bei Schweißschulungsanordnungen nach Stand der Technik muss ein Handschweißer während des virtuellen Schweißens überdies einen Mindestabstand zu den gegebenen Schulungswerkstätten einhalten. Die Einhaltung eines Mindestabstandes ist im Fall eines mit RGB-Kameras durchgeführten Trackings erforderlich, um stets einen ausreichend großen Bereich der zu trackenden Objekte erfassen zu können. Diese Vorgabe kann die Anwendbarkeit einer Schweißschulungsanordnung mitunter merklich einschränken.

Auch kann das Sichtfeld einer RGB-Kamera, welche gleichzeitig Objekte trackt und das Sichtfeld eines Handschweißers erfasst, nicht beliebig ausgedehnt werden. Dahingehende Versuche, beispielsweise unter Verwendung von Weitwinkelobjektiven wie

Fischaugenobjektiven, haben gezeigt, dass die Verwendung derartiger Objektive zu Schwindel und Unwohlsein beim Handschweißer führen kann. Auch ist das auf RGB-Kameras basierende Tracking vielfach von den gegebenen Lichtverhältnissen abhängig, wodurch sich bei geänderten Lichtverhältnissen mitunter erhebliche Funktionsstörungen ergeben können.

Es ist demnach eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, eine Schweißschulungsanordnung mit einer verbesserten Objekterkennung und Objektverfolgung anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Die unabhängigen Ansprüche beschreiben hierbei eine Schweißschulungsanordnung sowie ein Verfahren zur Durchführung eines virtuellen Schweißvorganges auf der erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung.

Die erfindungsgemäße Schweißschulungsanordnung weist ein Schulungs-Werkstück sowie einen bewegbaren Schulungs-Handschweißbrenner auf. Erfindungsgemäß ist am Schulungs-Werkstück eine erste Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern vorgesehen, welche in einem das Schulungs-Werkstück individualisierenden ersten Referenzmuster am Schulungs-Werkstück angeordnet sind. Weiters ist eine zweite Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern vorgesehen, welche in einem den Schulungs-Handschweißbrenner individualisierenden zweiten Referenzmuster am Schulungs-Handschweißbrenner angeordnet sind.

Darüber hinaus weist die erfindungsgemäße Schweißschulungsanordnung ein Mixed-Reality-Headset auf, auf welchem ein Mixed-Reality-Display, eine RGB-Kamera und eine IR-Kamera vorgesehen sind. Hierbei ist entscheidend, dass die IR-Kamera über ein räumliches IR-Sichtfeld zur Erfassung von IR-Bildern von sich im IR-Sichtfeld befindenden IR-reflektierenden Referenzmarkern verfügt, welches größer ist als das RGB-Sichtfeld der RGB-Kamera. In Kombination mit der Verwendung der erfindungsgemäßen IR-reflektierenden Referenzmarker kann dadurch die Objekterkennung und Objektverfolgung im Vergleich zu aus dem Stand der Technik bekannten Schweißschulungsanordnungen verbessert werden. Ein Handschweißer kann wesentlich näher an ein Schulungs-Werkstück herantreten, kann bedeutend schnellere Bewegungen mit dem Schulungs-Handschweißbrenner ausführen, und es kann dennoch auch in solchen Szenarien eine präzise und akkurate Objekterkennung und Objektverfolgung insbesondere des Schulungs-Handschweißbrenners gewährleistet werden.

Durch die erfindungsgemäße Schweißschulungsanordnung ist es möglich, das Tracking, also die Objekterkennung und Objektverfolgung insbesondere von Schulungs-Werkstück und Schulungs-Handschweißbrenner, auch in dynamischen Phasen, in denen beispielsweise der

Schulungs-Handschweißbrenner schnell bewegt wird, präzise und zuverlässig sicherzustellen.

Mithilfe der erfindungsgemäßen IR-Kameras können im Vergleich zum Stand der Technik teils merklich größere Trackingbereiche erfasst werden. Auch die Orientierung der zu trackenden Komponenten unterliegt im Rahmen der Erfindung beinahe keinen Einschränkungen mehr, und auch ein Mindestabstand zum Schulungs-Werkstück muss nicht mehr eingehalten werden.

Weiters weist die erfindungsgemäße Schweißschulungsanordnung eine Simulationseinheit auf, welche ausgestaltet ist, aus den mit den durch die IR-Kamera erfassten IR-Bildern des ersten sowie des zweiten Referenzmusters eine Geometrie und/oder eine Form und/oder eine Type des Schulungs-Handschweißbrenners, wie MIG-Handschweißbrenner oder MAG-Handschweißbrenner oder TIG-Handschweißbrenner oder E-Handschweißbrenner, sowie des Schulungs-Werkstücks und einen zeitlichen Verlauf der Raumlagen des Schulungs-Handschweißbrenners sowie des Schulungs-Werkstücks relativ zum Headset-Bezugspunkt zu ermitteln. Darauf aufbauend erlaubt es die Simulationseinheit, einen zeitlichen Positionsverlaufs einer virtuellen Schweißelektrode und daraus eine virtuelle Schweißnaht am Schulungs-Werkstück zu ermitteln, mit welcher Mixed-Reality-Bilder des virtuellen Handschweißvorganges erzeugt werden, die letztlich auf einem ebenfalls am Mixed-Reality-Headset angeordneten Mixed-Reality-Display dargestellt werden.

Bei realen Schweißvorgängen kommen Schweißelektroden zum Einsatz, deren Art und Ausführung bekanntermaßen von der Art des Schweißvorganges abhängen. Beispielsweise brennt beim Lichtbogenschweißen ein Lichtbogen zwischen dem Werkstück und einer Schweißelektrode, wofür unter Schutzgas abschmelzende Draht- oder Banelektroden oder abschmelzende Stabelektroden oder auch nicht abschmelzende Schweißelektroden (z.B. Wolfram-basierte Schweißelektroden) vorgesehen sein können. Im Rahmen der gegenständlichen Erfindung wird die für einen simulierten Schweißvorgang erforderliche Schweißelektrode, also beispielsweise eine unter Schutzgas abschmelzende Draht- oder Banelektrode oder eine abschmelzende Stabelektrode oder auch eine nicht abschmelzende Schweißelektrode, in der Simulation in Form einer virtuellen Schweißelektrode berücksichtigt. Bevorzugt kann die Type der virtuellen Schweißelektrode dabei mit der Type des Schulungs-Handschweißbrenners mitidentifiziert werden, wobei vorteilhafterweise aus dem ermittelten zeitlichen Verlauf der Raumlage des Schulungs-Handschweißbrenners der zeitliche Positionsverlauf und auch die räumliche Lage der virtuellen Schweißelektrode ermittelbar ist.

Durch den Umstand, dass im Rahmen der Erfindung wesentlich akkuratere Informationen über die räumlichen Lagen der für den virtuellen Handschweißvorgang wichtigen

Komponenten, insbesondere des Schulungs-Handschweißbrenners und des Schulungs-Werkstücks, zur Verfügung stehen, welche in der Simulationseinheit auch für die simulatorische Ermittlung der virtuellen Schweißnaht eingesetzt werden, können virtuelle Handschweißvorgänge wesentlich realitätsgetreuer gestaltet werden. Die größere Realitätstreue erhöht den Schulungseffekt für den Handschweißer, was einen weiteren Parameter darstellt, bezüglich dessen durch die gegenständliche Erfindung eine Verbesserung im Vergleich zum bekannten Stand der Technik erreicht wird. Die RGB-Kamera wird im Rahmen der Erfindung als sogenanntes „Live-View“ der Umgebung verwendet, das Tracking wird über die IR-Kamera realisiert. Hierbei ist entscheidend, dass die IR-Kamera mit einem größeren Sichtbereich ausgestattet werden kann, was den Vorteil eines wesentlich größeren trackbaren Bereichs mit sich bringt, die genannten Nachteile für einen ausführenden Handschweißer jedoch vermeidet.

Ein wichtiger Vorteil der erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung ist, dass aufgrund der Verwendung der IR-Kamera zum Tracking insbesondere bewegliche Komponenten mit im Vergleich zum Stand der Technik kleineren, passiven und damit kostengünstigeren Markern ausgestattet werden können und dennoch zuverlässig und präzise identifiziert werden können.

Auch benötigen die beweglichen, zu trackenden Komponenten im Vergleich zu aus dem Stand der Technik bekannten Komponenten mitunter wesentlich weniger Hardware, insbesondere da die Marker passiv sind und folglich keine Spannungsversorgung erfordern.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 12 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 eine mögliche Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung,

Fig.2 ein schematisches Blockschaltbild eines Simulationsmodells in einer erfindungsgemäßen Simulationseinheit,

Fig.3 eine Schweißschulungsanordnung nach Stand der Technik,

Fig.4 ein erfindungsgemäßes Mixed-Reality-Headset,

Fig.5 ein Mixed-Reality-Headset in Frontansicht und einen Adapter zur Fixierung einer IR-Kamera in vorgegebener räumlicher Distanz zu einer RGB-Kamera am Mixed-Reality-Headset,

Fig. 6 die Sichtfelder einer RGB-Kamera und einer IR-Kamera in erfindungsgemäßer Anordnung auf einem Mixed-Reality-Headset;

Fig.7 erfindungsgemäß ausgestaltete Schulungs-Handscheißbrenner mit IR-reflektierenden Referenzmarkern,

Fig.8 Ausgestaltungsmöglichkeiten eines ersten Referenzmusters zur Individualisierung eines Schulungs-Werkstücks,

Fig.9 eine Ausgestaltung eines ersten Referenzmusters zur Individualisierung eines Schulungs-Werkstücks mit einer Mulde zur Anordnung eines IR-reflektierenden Referenzmarkers in Seitenansicht,

Fig.10 eine Mulde zur Anordnung eines IR-reflektierenden Referenzmarkers in Detaildarstellung,

Fig.11a, Fig. 11b, Fig. 11c die Aktivierung eines Menüs bzw. Interaktions-Menüs auf dem Mixed-Reality-Display eines erfindungsgemäßen Mixed-Reality-Headsets bei Erfassung eines Mixed-Reality-Zielobjekts,

Fig.12a, Fig.12b eine Schweißnaht und eine Schweißwurzel.

Fig.1 zeigt eine mögliche Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 zur Durchführung eines virtuellen Handscheißvorganges. Die Grundbestandteile der Schweißschulungsanordnung 1 sind ein Schulungs-Werkstück 4, ein manuell bewegbarer Schulungs-Handscheißbrenner 6, ein Mixed-Reality-Headset 800 und eine Simulationseinheit 9 mit einer schematisch dargestellten Brennerhalterung 17.

Unter Mixed-Reality („vermischte Realität“ oder „gemischte Realität“) wird im gegenständlichen Zusammenhang die Vermischung der natürlichen Wahrnehmung eines Handscheißers 2 mit einer künstlich erzeugten („computererzeugten“) Wahrnehmung verstanden. Die natürliche Wahrnehmung eines Handscheißers 2 wird im Rahmen der gegenständlichen Erfindung anhand einer RGB-Kamera 803 erfasst und durch von der RGB-Kamera 803 erzeugte RGB-Bilder repräsentiert.

Wie an späterer Stelle im Detail ausgeführt, fungiert die Simulationseinheit 9 als CPU bzw. Recheneinheit der gezeigten Schweißschulungsanordnung 1. Wie eine CPU und damit eine Simulationseinheit 9 einer Schweißschulungsanordnung 1 aufgebaut werden kann, kann mehreren Dokumenten des Stands der Technik entnommen werden. Konkret bieten beispielsweise die EP 2 863 376 A1, die US 202/0265750 A1 oder auch die WO 2020/167812 A1 dahingehende Erläuterungen.

Im Rahmen der gegenständlichen Erfindung kann eine Simulationseinheit 9 auch in einem realen Schweißgerät (in Fachkreisen auch als „Schweißstromquelle“ oder „Stromquelle“ bezeichnet) integriert sein, an welches ein Schulungs-Handscheißbrenner 6 wie ein herkömmlicher, realer Schweißbrenner angeschlossen werden kann. Hierbei können insbesondere die an einem realen Schweißgerät bzw. an dessen Gehäuse vorgesehenen

Schnittstellen, z.B. Anschlüsse zum Anschließen eines realen Handschweißbrenners, auch bei der Durchführung eines virtuellen Schweißvorganges unverändert eingesetzt werden. Im Fall einer Durchführung eines virtuellen Schweißvorganges mittels einer in einem realen Schweißgerät integrierten Simulationseinheit 9 wird die Leistungsversorgung durch das reale Schweißgerät, z.B. an den Schulungs-Handschweißbrenner 6, deaktiviert.

Bei einem Schulungs-Handschweißbrenner 6 kann es sich insbesondere um einen realen Handschweißbrenner handeln, der zwar für die Durchführung von virtuellen Handschweißvorgängen adaptiert sein kann, aber nach wie vor auch zur Durchführung realer Schweißvorgänge, wie zur Durchführung eines realen WIG-Schweißvorgangs, geeignet sein kann.

Zur Anordnung des Schulungs-Werkstücks 4 ist in der in Fig.1 gezeigten Ausführungsform eine Werkstückhalterung 5 vorgesehen, an der das Schulungs-Werkstück 4 montierbar ist. Mithilfe einer Werkstückhalterung 5 können insbesondere verschiedenste sogenannte Schweißpositionen simuliert werden. Bekanntermaßen beschreiben Schweißpositionen die Lage und/oder Ausrichtung und/oder Anordnung der Werkstücke, des Brenners und der Schweißelektrode und damit die Lage und/oder Ausrichtung und/oder Anordnung einer Schweißnaht im Zuge eines Schweißvorgangs. Diesbezüglich definiert die Norm DIN EN ISO 6947 oder der ASME code Section IX (QW-120) eine Reihe von möglichen Schweißpositionen, wie PA (Waagrechtes Schweißen von Stumpf- und Kehlnähten), PB (Horizontales Schweißen von Kehlnähten, Horizontal-Vertikalposition) oder PC (Querposition bzw. Quernaht, waagrechtes Schweißen an senkrechter Wand). Vor allem beim Schweißen senkrechter Schweißnähte können hierbei erschwerende Effekte eintreten, wie das Nach-Unten-Fließen von Schmelze, was im Rahmen der gegenständlichen Erfindung ebenso berücksichtigt und als Teil des virtuellen Handschweißvorganges dargestellt werden kann.

Um das Schulungs-Werkstück 4 an der Werkstückhalterung 5 anzuordnen, sind verschiedene Montagemethoden denkbar. So kann das Schulungs-Werkstück 4 an der Werkstückhalterung 5 magnetisch montiert werden, oder an der Werkstückhalterung 5 festgeschraubt oder festgeklemt oder festgeklebt oder vergossen oder gekeilt werden oder einfach darauf abgelegt werden. Ferner kann eine Montage des Werkstücks 4 ganz allgemein formschlüssig, kraftschlüssig und/oder stoffschlüssig erfolgen. Im Fall einer magnetischen Montage kann das Schulungs-Werkstück 4 mit zumindest einer metallischen Komponente und die Werkstückhalterung 5 mit zumindest einem Magneten ausgestattet werden, um eine magnetische Haltekraft bereitzustellen. Auch Realisierungen mit Magneten im Schulungs-Werkstück 4 und/oder metallischen Komponenten in der Werkstückhalterung 5 sind denkbar. Der Raum, in dem bei einer Schweißschulungsanordnung 1 das Schulungs-Werkstück 4, und gegebenenfalls die Werkstückhalterung 5, und gegebenenfalls der

Schulungs-Handschweißbrenner 6 und die Brennerhalterung 17 angeordnet sind, wird hierbei vielfach als 3D-Schweißumgebung 3 bezeichnet.

Eine Werkstückhalterung 5 stellt allerdings keinen zwingenden Bestandteil einer erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 dar. Eine Brennerhalterung 17 stellt allerdings keinen zwingenden Bestandteil einer erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 dar. So kann ein Schulungs-Werkstück 4 auch frei und lose abgestellt sein. Die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 wird durch die Art der Anordnung des Schulungs-Werkstück 4 nicht beeinflusst.

Auch die Verwendung nur eines einzelnen Schulungs-Werkstücks 4 ist rein beispielhaft. Genauso können ein weiteres, zweites Schulungs-Werkstück 4 oder auch eine Mehrzahl von weiteren Schulungs-Werkstücken 4 vorgesehen sein. Die Schulungs-Werkstücke 4 können dabei eine gleiche Form oder unterschiedliche Formen aufweisen. Die Verwendung mehrerer Schulungs-Werkstücke 4 kann in Fällen vorgesehen sein, in denen an der Schweißschulungsanordnung 1 Schweißvorgänge nachgestellt werden, die eine Verbindung mehrerer Werkstücke zum Ziel haben. Die grundsätzliche Funktionsweise der Schweißschulungsanordnung 1 bleibt dabei unverändert, weswegen nachfolgend für die Beschreibung der Erfindung ohne Einschränkung der Allgemeinheit von lediglich einem Schulungs-Werkstücks 4 ausgegangen wird.

Das anhand der Grundbestandteile Schulungs-Werkstück 4, Schulungs-Handschweißbrenner 6, Mixed-Reality-Headset 800 und Simulationseinheit 9 umgesetzte Prinzip zur Schulung von Handschweißern 2 sieht vor, durch manuelle Bewegung des Schulungs-Handschweißbrenners 6 eine virtuelle Schweißnaht 13 am Schulungs-Werkstück 4 zu erzeugen und die virtuelle Schweißnaht 13 gemeinsam mit dem Schulungs-Werkstück 4 dem Handschweißer 2 anzuzeigen. Die virtuelle Schweißnaht 13 existiert dabei nicht real, sondern wird durch Simulation eines realen Schweißvorganges unter Vorgabe von Bewegungsdaten des Handschweißbrenners 6 und des Schulungs-Werkstücks 4 ermittelt. Zur Visualisierung wird die virtuelle Schweißnaht 13 als Teil einer Sequenz von Mixed-Reality-Bildern 12 des virtuellen Handschweißvorganges an einem Mixed-Reality-Display 801, welches am Mixed-Reality-Headset 800 angeordnet ist, angezeigt. Mögliche Ausführungsvarianten eines Mixed-Reality-Displays 801 sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt, bevorzugt können dafür Flüssigkristallanzeigen oder Flüssigkristallbildschirme eingesetzt werden.

Durch den Einsatz einer wie in Fig.1 gezeigten Schweißschulungsanordnung 1 können verschiedene Schweißprozesse, wie MIG-, MAG-, WIG-, Plasma- oder E-Handschweißprozesse ohne Sicherheitsrisiko erlernt werden.

Um die an einer Schweißschulungsanordnung 1 erzielten Eindrücke einer realen Schweißsituation möglichst ähnlich zu gestalten, können während des virtuellen Schweißens vom Handschweißer 2 auch Schweiß-Handschuhe und/oder Schutzausrüstung getragen werden, wodurch auch hinsichtlich der vom Handschweißer 2 zu tragenden Kleidung ein hoher Übereinstimmungsgrad zwischen realem und virtuellem Schweißen erreicht wird. Im Rahmen der Erfindung ist zu diesem Zweck ebenso denkbar, das Mixed-Reality-Headset 800 in einen realen Schweißhelm zu integrieren.

Um das oben beschriebene Grundprinzip des virtuellen Schweißens umzusetzen, ist in der Schweißschulungsanordnung 1 eine RGB-Kamera 803 vorgesehen (Fig.4), welche die beim virtuellen Handschweißen eingesetzten Komponenten, insbesondere den Schulungs-Handschweißbrenner 6 und das Schulungs-Werkstück 4, optisch erfasst, sofern diese im Sichtfeld der RGB-Kamera 803 sind. Die RGB-Kamera 803 kann hierbei als herkömmliche Digitalkamera ausgeführt sein, also als optisches Instrument oder fototechnische Apparatur zur Aufnahme bewegter Bilder. Die RGB-Kamera 803 kann hierzu mit geeigneten oder benötigten Objektiven, Blenden, optischen Filtern usw. ausgestattet sein.

Dem Stand der Technik kann eine Vielzahl von Ansätzen zur Ausführung einer Digitalkamera entnommen werden, beispielgebend sei dazu auf die DE 10 2005 053 276 A1 oder die US 10,877,266 B2 verwiesen. Für die im Rahmen der gegenständlichen Erfindung verwendete RGB-Kamera 803 ist wesentlich, dass diese in der Lage ist, "sichtbares Licht", also Licht des sichtbaren Teils des elektromagnetischen Spektrums zu erfassen. Bekanntermaßen umfasst sichtbares Licht elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen im Bereich von 400 nm bis 780 nm.

Die RGB-Kamera 803 ist am Mixed-Reality-Headset 800 angeordnet und erlaubt es, RGB-Bilder von sich im Sichtfeld der RGB-Kamera 803, nachfolgend „RGB-Sichtfeld“ 809, befindenden Objekten zu erfassen. Unter dem Begriff „Sichtfeld“ wird dabei jener Bereich im Bildwinkel einer optischen Einrichtung verstanden, innerhalb dessen Objekte oder Ereignisse oder Veränderungen von der optischen Einrichtung wahrgenommen und damit von der RGB-Kamera 803 aufgezeichnet werden können. Die Begriffe „Sichtfeld“ und „Bildwinkel“ sind dem Fachmann auf dem Gebiet derameratechnik hinlänglich bekannt.

Für die Durchführung des gegenständlichen virtuellen Handschweißvorganges sowie für dessen Visualisierung ist es erforderlich, dass sich zu zumindest einem Zeitpunkt während des Handschweißvorganges zumindest ein Teil des Schulungs-Werkstücks 4 und zumindest ein Teil des Schulungs-Handschweißbrenners 6 im RGB-Sichtfeld 809 der RGB-Kamera 803 befinden. Vorteilhafterweise liegen hierbei zumindest drei, bevorzugt zumindest vier oder besonders bevorzugt zumindest fünf IR-Referenzmarker 71, 73 im RGB-Sichtfeld 809 der RGB-Kamera 803. Diese Bedingung schließt allerdings nicht aus, dass sich der

Handschweißer 2 während der Durchführung des virtuellen Handschweißvorganges kurz vom Schulungs-Werkstücks 4 abwendet, und seinen Blick z.B. vorübergehend dem Boden zuwendet. Typischerweise arbeitet der Handschweißer 2 aber dem Schulungs-Werkstücks 4 zugewandt, weswegen obige Forderung in den üblichen Fällen durchgehend erfüllt ist.

Die Simulationseinheit 9 der in Fig.1 gezeigten Schweißschulungsanordnung 1 ist hierbei ausgestaltet, um eine Geometrie und/oder eine Form und/oder eine Type des Schulungs-Handschweißbrenners 6 und des Schulungs-Werkstücks 4 sowie insbesondere einen zeitlichen Verlauf der Raumlagen des Schulungs-Handschweißbrenners 6 und des Schulungs-Werkstücks 4 während der Durchführung des virtuellen Schweißens zu bestimmen. Zur Umsetzung dieses im Stand der Technik auch als „Tracking“ bezeichneten Identifizierens und Verfolgens der Raumlagen des Schulungs-Handschweißbrenners 6 und des Schulungs-Werkstücks 4 ist im Rahmen der erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 eine erste Mehrzahl von Infrarot-reflektierenden Referenzmarkern 71, nachfolgend „IR-reflektierende“ Referenzmarker 71, sowie eine zweite Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern 73 vorgesehen. Wie nachfolgend im Detail erläutert, können die erfindungsgemäßen IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 im Vergleich zu aus dem Stand der Technik bekannten Ansätzen mitunter entscheidend kleiner gestaltet werden, mit bevorzugten Durchmessern oder größten Ausdehnungen oder größten Abständen zwischen zwei Punkte des Randes eines Referenzmarkers 71, 73 im Bereich von nur wenigen Millimetern.

Unter „Infrarot“ wird im gegenständlichen Zusammenhang Infrarotstrahlung, auch IR-Strahlung, verstanden, welche bekanntermaßen elektromagnetischer Strahlung im Spektralbereich zwischen sichtbarem Licht und der längerwelligen Terahertzstrahlung entspricht. Konkret ist damit Licht mit einer Wellenlänge zwischen 780 nm und 1 mm gemeint, was einem Frequenzbereich von 300 GHz bis 400 THz bzw. einem Wellenzahlbereich von 10 cm^{-1} bis 12.800 cm^{-1} entspricht. Die gegenständlichen IR-reflektierenden Referenzmarker zeichnen sich dadurch aus, dass sie bevorzugt mehr als 70% oder ganz bevorzugt mehr als 80% oder besonders bevorzugt mehr als 90% oder höchst bevorzugt mehr als 99% einer auf sie auftreffenden IR-Strahlung wieder reflektieren.

Die erste Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern 71 ist hierbei in einem das Schulungs-Werkstück 4 individualisierenden ersten Referenzmuster 72 am Schulungs-Werkstück 4 angeordnet. Die zweite Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern 73 ist demgegenüber in einem den Schulungs-Handschweißbrenner 6 individualisierenden zweiten Referenzmuster 74 am Schulungs-Handschweißbrenner 6 angeordnet.

Ein „Referenzmuster“ ist eine bestimmte, geometrische Anordnung einer Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern. „Individualisierend“ bedeutet hierbei, dass ein

Referenzmuster eindeutig ist und daher ein Referenzmuster von einem anderen Referenzmuster unterscheidbar ist. Das Referenzmuster ist vorzugsweise aus unterschiedlichen Blickrichtungen, wobei aus verschiedenen Blickrichtungen jeweils nur ein Teil des Referenzmusters sichtbar sein kann, individualisierend.

Um die IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 zu erfassen, sieht die gegenständliche Erfindung eine eigens zu diesem Zweck vorgesehene IR-Kamera 804 vor.

Unter einer IR-Kamera 804 wird gegenständlich eine optische Vorrichtung ähnlich einer herkömmlichen Kamera verstanden, welche in der Lage ist, Infrarotstrahlung zu empfangen und zu verarbeiten und die IR-Strahlung weiters als Bild wiederzugeben. Licht in einem anderen Spektralbereich als im IR-Bereich wird von der IR-Kamera 804 nicht aufgezeichnet. Dazu kann die IR-Kamera 804 auch mit entsprechenden optischen Filtern ausgestattet sein.

Die IR-Kamera 804 ist erfindungsgemäß in einer zur RGB-Kamera 803 vorgegebenen, fixen räumlichen Distanz am Mixed-Reality-Headset 800 angeordnet (Fig.4). Die IR-Kamera 804 weist dabei wie die RGB-Kamera 803 ein eigenes Sichtfeld auf, welches nachfolgend als „IR-Sichtfeld“ 810 bezeichnet wird. Die IR-Kamera 804 erlaubt es, IR-Bilder von sich im IR-Sichtfeld 810 befindenden IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 zu erfassen. Mit der Erfassung der IR-reflektierenden Referenzmarker 71, 73 geht die Erfassung zumindest von Teilen der genannten, das Schulungs-Werkstück 4 und den Schulungs-Handschweißbrenner 6 individualisierenden Referenzmusters 72, 74 einher.

Eine wesentliche Eigenschaft der erfindungsgemäß verwendeten IR-Kamera 804 ist, dass deren IR-Sichtfeld 810 größer ist als das RGB-Sichtfeld 809 der RGB-Kamera 803, vorzugsweise in zumindest einem Raumwinkel größer. Erfindungsgemäß überlappen sich das IR-Sichtfeld 810 und das RGB-Sichtfeld 809.

Während der Durchführung des virtuellen Handschweißvorganges befindet sich zumindest ein Teil des ersten Referenzmusters 72 und zumindest ein Teil des zweiten Referenzmusters 74 im IR-Sichtfeld 810. Auf diesen Umstand wird an späterer Stelle gesondert eingegangen.

Zur Zuordnung von Referenzmustern 72, 74 zu bestimmten Schulungs-Werkstücken 4 oder Schulungs-Handschweißbrennern 6 kann in der Simulationseinheit 9 eine Datenbank oder ein Datenbankeintrag oder eine Liste hinterlegt sein, welche unterschiedliche Referenzmuster 72, 74 mit Beschreibungen von Schulungs-Werkstücken 4 oder Schulungs-Handschweißbrennern 6 verknüpft. Wird nun ein Referenzmuster 72, 74 oder ein Teil des Referenzmusters 72, 74, welcher einen Rückschluss auf das gesamte Referenzmuster 72, 74 zulässt, von der IR-Kamera 804 erfasst, können durch Abgleich mit den vorgesehenen Datenbankeinträgen das zugrunde liegende Schulungs-Werkstück 4 und dessen Eigenschaften identifiziert werden. Die Datenbankeinträge können dabei eine Beschreibung der Geometrie, der Maße, des Materials usw. des Schulungs-Werkstücks 4 enthalten.

Selbiges gilt für Schulungs-Handschweißbrenner 6, deren Identifikation ebenfalls durch Abgleich von erfassten Referenzmustern 74 mit entsprechenden Datenbankeinträgen erfolgen kann.

Bevorzugterweise, und so auch im Rahmen der in Fig.1 gezeigten Ausgestaltung der Erfindung, erfolgt die Erfassung von IR-Bildern und von RGB-Bildern fortlaufend zu diskreten Zeitpunkten k. „Fortlaufend“ ist hierbei zu verstehen als eine wiederholte Aufnahme von IR-Bildern und von RGB-Bildern zu den genannten diskreten Zeitpunkten. Es sei angemerkt, dass die RGB-Kamera 803 und die IR-Kamera 804 im Rahmen der Erfindung auch unterschiedlich getaktet sein können, und damit unterschiedliche Abtastzeiten aufweisen können.

Fortlaufend erfasste IR-Bilder führen gemäß den obigen Ausführungen zu fortlaufend erfassten Teilen des ersten sowie des zweiten Referenzmusters 72, 74, woraus in der Simulationseinheit 9 eine fortlaufende Beschreibung der Raumlagen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6 abgeleitet werden kann. Der Simulationseinheit 9 werden zu diesem Zweck die erfassten RGB-Bilder und die erfassten IR-Bilder zugeführt. Dazu kann die RGB-Kamera 803 und die IR-Kamera 804 beispielsweise durch Verkabelung mit der Simulationseinheit 9 verbunden sein, um die aufgenommenen Bilddaten zu übertragen. Im Rahmen der gegenständlichen Erfindung ist allerdings auch eine kabellose Verbindung („wireless“) der RGB-Kamera 803 und der IR-Kamera 804 mit der Simulationseinheit 9 denkbar. Zur kabellosen Verbindung der RGB-Kamera 803 und der IR-Kamera 804 mit der Simulationseinheit 9 können bekannte Konzepte wie Bluetooth, WLAN oder ZigBee verwendet werden.

Aus der fortlaufenden Beschreibung der Raumlagen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6 kann letztlich in bekannter Weise die für die Umsetzung des virtuellen Schweißvorganges erforderliche Relativbewegung zwischen Schulungs-Handschweißbrenners 6 und Schulungs-Werkstücks 4 ermittelt werden. In einer vorteilhaften Weise können aus den Positionsverläufen von Schulungs-Werkstücks 4 und Schulungs-Handschweißbrenners 6 auch deren Beschleunigung und Geschwindigkeit ermittelt werden, was ebenso in der Ermittlung der virtuellen Schweißnaht 13 berücksichtigt werden kann.

Es sei angemerkt, dass die Ermittlung der Raumlagen und die daraus resultierenden Positionsverläufe des Schulungs-Handschweißbrenners 6 sowie des Schulungs-Werkstücks 4 relativ zu einem Headset-Bezugspunkt 802 erfolgt, welcher als fixer Punkt am Mixed-Reality-Headset 800 festgelegt ist. Allerdings bewegt sich der Headset-Bezugspunkt 802 mit dem Mixed-Reality-Headset 800 mit, was eine große Flexibilität in der Positionsbeschreibung erlaubt. Auf die konkrete Ausgestaltung dieser auf dem Headset-Bezugspunkt 802 aufbauenden Positionsbeschreibung wird an späterer Stelle im Detail eingegangen.

Ferner können Raumlagen und daraus resultierende Positionsverläufe des Schulungs-Handschweißbrenners 6 oder des Schulungs-Werkstücks 4 nicht nur ermittelt, sondern auch bewertet werden. Darauf aufbauend können eine am Mixed-Reality-Display 801 ausgegebene Anleitung oder am Mixed-Reality-Display 801 ausgegebene Hinweise erfolgen, beispielsweise dass der Handschweißer 2 das Schulungs-Werkstück 4 falsch positioniert hat, worauf in weiterer Folge Hinweise oder eine Anleitung zur Korrektur der Positionierung gegeben werden können.

Zur Ermittlung einer fortlaufenden Beschreibung der Raumlagen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6 können zunächst geometrische Bezugspunkte am Schulungs-Werkstück 4 und am Schulungs-Handschweißbrenner 6 ermittelt werden. Die geometrischen Bezugspunkte am Schulungs-Werkstück 4 und am Schulungs-Handschweißbrenner 6 können beispielsweise aus den am Schulungs-Werkstück 4 und am Schulungs-Handschweißbrenner 6 angebrachten Referenzmustern 72, 74 ermittelt werden. Darauf aufbauend können, z.B. dreidimensionale, Positionsvektoren ermittelt werden, welche die Relativpositionen der geometrischen Bezugspunkte am Schulungs-Werkstück 4 und am Schulungs-Handschweißbrenner 6 in Bezug zum vorgegebenen geometrischen Headset-Bezugspunkt 802 beschreiben. Diese Positionsvektoren können aus den erfassten Bilddaten der IR-Kamera 804 ermittelt werden.

Ein zeitlicher Verlauf von Bilddaten der IR-Kamera 804 kann einen zeitlichen Verlauf dieser Positionsvektoren festlegen, woraus sich in direkter Konsequenz die Positionsverläufe des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6 ableiten lassen. Positionsverläufe können demnach verstanden werden als eine zeitliche Abfolge von Positionsvektoren, welche die Relativpositionen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6 in Bezug zum Headset-Bezugspunkt 802 beschreiben.

Die Orientierungen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6 relativ zum Headset-Bezugspunkt 802 können in bevorzugter Weise ebenfalls aus den Referenzmustern 72, 74 ermittelt werden. Um darüber hinaus auch die Orientierung des Schulungs-Werkstücks 4 und/oder des Schulungs-Handschweißbrenners 6 in der 3D-Schweißumgebung 3 oder allgemein im dreidimensionalen Raum zu ermitteln, können ferner noch weitere Sensoren vorgesehen sein, die weitere, zu diesem Zweck heranziehbare Sensordaten liefern. Auf diese Sensoren, mit deren Hilfe beispielsweise auch die eingangs genannten Schweißpositionen (PA, PB, ...) ermittelt werden können, wird an späterer Stelle gesondert eingegangen.

In Zusammenschau mit den ermittelten Positionsverläufen können, bei bekannter Geometrie des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6, aus der

Orientierung von Schulungs-Werkstück 4 und Schulungs-Handschweißbrenner 6 die zeitlichen Verläufe der entsprechenden Raumlagen bestimmt werden.

Im Rahmen der in Fig.1 gezeigten Schweißschulungsanordnung 1 ist weiters vorgesehen, ausgehend von den Positionsverläufen des Schulungs-Handschweißbrenners 6 sowie des Schulungs-Werkstücks 4, unter Berücksichtigung zumindest eines vorgegebenen Schulungs-Schweißparameters p_s eine virtuelle Schweißnaht 13 zu ermitteln, welche der Handschweißer im Zuge des virtuellen Handschweißvorganges am Schulungs-Werkstück 4 erzeugt hat. Die Ermittlung der virtuellen Schweißnaht 13 erfolgt in bevorzugter Weise durch Simulation eines realen Handschweißvorganges, unter der Randbedingung, dass ein realer Handschweißbrenner, der bevorzugt mit einer entsprechenden Schweißelektrode ausgestattet ist, entsprechend dem ermittelten zeitlichen Positionsverlauf des Schulungs-Handschweißbrenners 6 relativ zum Schulungs-Werkstück 4 bewegt wird, wobei eine entsprechende Schweißelektrode in der Simulation durch eine virtuelle Schweißelektrode repräsentiert wird. Insbesondere beim MIG/MAG-Schweißen kann dabei auch eine veränderliche Länge der virtuellen Schweißelektrode berücksichtigt werden. Hierfür kann an der Simulationseinheit 9 ein geeignetes Schweißsimulationsmodell 91 implementiert sein, das aus den Positionsverläufen des Schulungs-Handschweißbrenners 6 sowie des Schulungs-Werkstücks 4 und damit einhergehend aus dem zeitlichen Positionsverlauf einer virtuellen Schweißelektrode, unter Berücksichtigung zumindest eines vorgegebenen Schulungs-Schweißparameters p_s eine virtuelle Schweißnaht 13 ermittelt. Zur Simulation eines realen Handschweißvorganges bietet der Stand der Technik eine Reihe von Ansätzen, beispielsweise in der RU 2694147 C1, der WO 2020/056388 A1 oder der US 2015/0352794 A1.

Die Simulationseinheit 9 ist als Computer oder computerbasierte Hardware ausgeführt. Ein Simulationsmodell 91 kann als Software implementiert sein, das auf der Simulationseinheit 9 abläuft. Wie ein Simulationsmodell 91 aufgebaut sein kann, ist in Fig.2 anhand eines Blockschaltbildes schematisch gezeigt. Das Simulationsmodell 91 ist in der Simulationseinheit 9 angeordnet und erhält als Eingangssignale Bilddaten B_{RGB} der RGB-Kamera 803, Bilddaten B_{IR} der IR-Kamera 804 sowie Schulungs-Schweißparameter p_s . Daraus ermittelt das Simulationsmodell 91 die virtuelle Schweißnaht 13. Erfindungsgemäß wird die virtuelle Schweißnaht 13 in weiterer Folge am Mixed-Reality-Display 801 des Mixed-Reality-Headsets 800 angezeigt.

Das Simulationsmodell 91 kann vorteilhafterweise ausgestaltet sein, auch die in der Schweißtechnik übliche Einbringung von Zusatzwerkstoffen zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck kann in Abhängigkeit der gewählten Schweißart auf weitere Sub-Simulationsmodelle zurückgegriffen werden, welche die Einbringung von Zusatzwerkstoffen modellhaft beschreiben.

Der zumindest eine vorgegebene Schulungs-Schweißparameter p_s kann hierbei einer Schweißstromstärke oder einer Schweißspannung oder einer Schweißgeschwindigkeit oder einer Werkstückgeometrie oder einer Wartezeit oder einer Vorheiztemperatur oder einer Drahtvorschubgeschwindigkeit oder einer Lichtbogenlänge oder einer Schweißart oder einer Schutzgaseinstellung, insbesondere einer Durchflussmenge eines Schutzgases, entsprechen. Auch eine andere Wahl für den Schulungs-Schweißparameter p_s ist im Rahmen der gegenständlichen Erfindung jedoch denkbar. Typischerweise wird nicht nur ein einzelner Schulungs-Schweißparameter p_s vorgegeben, sondern eine Vielzahl von Schulungs-Schweißparametern p_s , da Schweißen ein komplexer physikalischer Prozess ist, bei dem üblicherweise eine Vielzahl von Größen festzulegen sind.

Die genannten Schulungs-Schweißparameter p_s können in einer vorteilhaften Weise auch während eines virtuellen Handschweißvorganges veränderbar sein, wozu an der Simulationseinheit 9 ein geeignetes, vorzugsweise haptisches, Bedienelement vorgesehen sein kann, beispielsweise ein Drehpotentiometer. Beispielsweise kann mit einem haptischen Bedienelement, vorzugsweise ausschließlich, ein simuliertes Schutzgas als Schulungs-Schweißparameter p_s geregelt werden, und andere Schulungs-Schweißparameter p_s können z.B. an anderer Stelle eingestellt werden, wie z.B. auf einem Tablet als portables Anzeigeelement 14, worauf an späterer Stelle gesondert eingegangen wird.

Die ermittelte virtuelle Schweißnaht 13 und der damit einhergehende Schweißfortschritt müssen in einem abschließenden Schritt graphisch aufbereitet und angezeigt werden. Zu diesem Zweck ist am Mixed-Reality-Headset 800 ein Mixed-Reality-Display 801 vorgesehen. Bei der graphischen Anzeige ist auf den jeweils aktuellen Zeitpunkt T_{akt} während des virtuellen Handschweißvorganges zu achten. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, zumindest jenen Teil der bis zu einem aktuellen Zeitpunkt T_{akt} des virtuellen Handschweißvorganges ermittelten virtuellen Schweißnaht 13, welcher innerhalb des zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegenden RGB-Sichtfeldes 809 liegt, dem zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegenden RGB-Bild zu überlagern, um ein Mixed-Reality-Bild 12 des virtuellen Handschweißvorganges zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} zu erzeugen. Die Überlagerung der virtuellen Schweißnaht 13 erfolgt natürlich in der richtigen räumlichen Ausrichtung und Position bezogen auf das Schulungs-Werkstück 4, um die virtuelle Schweißnaht 13 am Schulungs-Werkstück 4 richtig anzuzeigen.

Ein entsprechend den obigen Ausführungen ermitteltes Mixed-Reality-Bild 12 wird in weiterer Folge an das am Mixed-Reality-Headset 800 vorgesehene Mixed-Reality-Display 801 übermittelt, um es als Teil der Sequenz von Mixed-Reality-Bildern 12 des virtuellen Handschweißvorganges am Mixed-Reality-Display 801 anzuzeigen.

Wie in Fig.1 dargestellt, kann das Mixed-Reality-Bild 12 auch an einem zusätzlichen Anzeigeelement 14 dargestellt werden. Das ermöglicht es beispielsweise einem Ausbildner, die virtuelle Schweißung zu beobachten. Hierbei kann das Anzeigeelement 14 dem Ausbildner ein Mixed-Reality-Bild 12 des virtuellen Schweißvorganges auch aus dem Blickwinkel des Ausbildners darstellen. Ferner ist es ebenso möglich, dass der Ausbildner dem Handschweißer 2 optische Hinweise bzw. Tipps gibt, welche vom Anzeigeelement 14 auf das Mixed-Reality-Display 801 in Echtzeit übertragbar sind.

Die beschriebenen Schritte des Ermitteln der Positionsverläufe des Schulungs-Handscheißbrenners 6 sowie des Schulungs-Werkstücks 4, des Ermitteln der virtuellen Schweißnaht 13 und der Erstellung des Mixed-Reality-Bildes 12 erfolgen vorzugsweise in der Simulationseinheit 9, also der CPU bzw. Recheneinheit der betrachteten Schweißschulungsanordnung 1. Mögliche Realisierungen einer Simulationseinheit 9 sind unter anderem durch mikroprozessorbasierte Hardware gegeben, beispielsweise durch Mikrocontroller und integrierte Schaltungen (ASIC, FPGA). Auch andere Ansätze zur Ausgestaltung der Simulationseinheit 9 sind jedoch denkbar. So können auch mehrere Simulationseinheiten 9 vorgesehen sein, oder die Simulationseinheit 9 kann über eine Rechen-Cloud mit einer Vielzahl weiterer Simulationseinheiten 9 verbunden sein.

Die Simulationseinheit 9 kann ausgestaltet sein, um neben der Berechnung der virtuellen Schweißnaht 13 noch weitere, komplexe Berechnungen auszuführen. Beispielsweise können in der Simulationseinheit 9 ausgehend von der ermittelten virtuellen Schweißnaht 13 in nachfolgenden mechanischen Simulationen ein virtuelles metallurgisches Gefüge und/oder einen virtuellen spannungsinduzierten Verzug und/oder eine virtuelle Kornstruktur des metallurgischen Gefüges, welche sich als Folge der virtuellen Schweißnaht 13 im Schulungs-Werkstück 4 einstellen können, ermittelt und bedarfsweise auch dargestellt werden.

Die Simulationseinheit 9 kann überdies ausgestaltet sein, um aufbauend auf nachfolgenden mechanischen Simulationen sogenannte Schweiß-Qualitätsparameter zu ermitteln, welche eine Qualität und/oder eine Güte der virtuellen Schweißnaht 13 beschreiben. Schweiß-Qualitätsparameter können eine Nahtdicke, eine Schwingfestigkeit, einen Schweißnahtübergang oder einen Kantenversatz beschreiben, was beispielsweise in der Norm DIN EN ISO 581 beschrieben ist. Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, ermittelte Schweiß-Qualitätsparameter am Mixed-Reality-Display 801 neben dem virtuellen Handschweißvorgang anzuzeigen.

Auch kann die Simulationseinheit 9 ausgestaltet sein, um den vorliegenden RGB-Bildern eine vorgegebene, durch den virtuellen Handschweißvorgang zu erzeugende, virtuelle Ideal-Schweißnaht 131 (in Fig.1 und Fig.11a-c strichliert dargestellt) zu überlagern. Daran anknüpfend kann das Mixed-Reality-Display 801 natürlich ausgestaltet sein, um die mit der

virtuellen Ideal-Schweißnaht 131 überlagerten RGB-Bilder anzuzeigen. Auch bezüglich einer virtuellen Ideal-Schweißnaht 131 kann die Simulationseinheit 9 ausgestaltet sein, einen oder mehrere Naht-Qualitätsparameter zu ermitteln, welcher beispielsweise eine Abweichung zwischen der ermittelten virtuellen Schweißnaht 13 und der vorgegebenen Ideal-Schweißnaht 131 beschreiben können. Auf diese Weise wird eine objektive und nachvollziehbare Beurteilung der von einem Handschweißer erzeugten virtuellen Schweißnaht 13 ermöglicht.

Zur Beurteilung der erzeugten virtuellen Schweißnaht 13 kann in einer vorteilhaften Weise eine Abweichungs-Schwelle vorgegeben werden. Kommt es zu einer Abweichung zwischen der ermittelten virtuellen Schweißnaht 13 und der vorgegebenen Ideal-Schweißnaht 131, die eine vorgegebene Abweichungs-Schwelle überschreitet, kann die Simulationseinheit 9 oder auch ein anderes Element der Schweißschulungsanordnung 1 ausgestaltet sein, den Handschweißer 2 anhand akustischer und/oder optischer Signale auf diese Abweichung und damit auf damit verknüpfte Schweißfehler aufmerksam zu machen. Bevorzugt werden diese akustischen und/oder optischen Signale über das Mixed-Reality-Headsets 800 ausgegeben, wozu das Mixed-Reality-Headsets 800 mit geeigneten Lautsprechern ausgestattet sein kann.

Darüber hinaus kann die Simulationseinheit 9 ausgestaltet sein, um eine Datensicherung und/oder eine Aufzeichnung von Schweißungen zu ermöglichen, wodurch es einem lernenden Handschweißer 2 möglich ist, einen virtuellen Handschweißvorgang erneut anzusehen, Fehler zu analysieren und Lernfortschritte zu dokumentieren.

In einer besonders bevorzugten Weise kann auch die Simulationseinheit 9 am Mixed-Reality-Headset 800 angeordnet sein. Die Simulationseinheit 9 kann damit Bestandteil des Mixed-Reality-Headsets 800 sein oder integraler, also unlösbar verbundener, Bestandteil des Mixed-Reality-Headsets 800 sein. So kann beispielsweise auf eine freistehende Simulationseinheit 9 verzichtet werden.

Im Unterschied zu einem realen Handschweißvorgang benötigt ein virtueller Handschweißvorgang üblicherweise keine Vorbereitung oder Nachbereitung des Schulungs-Werkstücks. Gerade beim Schweißen von Stahl ist das Schweißergebnis oft in einem entscheidenden Maß von der Nahtvorbereitung abhängig. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für gute Schweißungen ist die Sauberkeit der Schweißnahtkanten. Diese müssen nicht nur metallisch blank, d.h. frei von Oxiden und/oder Zunder sein, sondern dürfen auch keine Verunreinigungen durch Fette, Öle oder andere organische Stoffe aufweisen, die zu Aufkohlungen und Einschlüssen in den Schweißnähten führen können. Vor- und Nachbereitungen sind an Schulungs-Werkstücken 4 nicht erforderlich. In einer vorteilhaften Ausführungsform erlaubt es die gegenständliche Erfindung allerdings, eine mangelhafte Vorbereitung eines Handschweißvorganges in einer erfindungsgemäßen

Simulationseinheit 9 bewusst vorzugeben und in einer Simulation zur Berechnung der virtuellen Schweißnaht 13 zu berücksichtigen, insbesondere um einem auszubildenden Handschweißer 2 die mit einer mangelhaften Vorbereitung eines Handschweißvorganges verknüpften Auswirkungen darzustellen.

Die in Fig. 1 gezeigte Ausgestaltung der Schweißschulungsanordnung 1 weist überdies ein optionales, weiteres Anzeigeelement 14 auf. Das weitere Anzeigeelement 14 ist jedoch kein zwingender Bestandteil der erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1, sondern dient lediglich der Darstellung des virtuellen Handschweißvorganges für neben dem Handschweißer 2 weitere Personen, wie einem Ausbildner oder weiterem Schulungspersonal. Zu diesem Zweck kann das weitere Anzeigeelement 14 vorzugsweise von der Simulationseinheit 9 lösbares gestaltet sein, beispielsweise in Form eines Tablets, welches von der Simulationseinheit 9 entnommen werden kann und beispielsweise mittels einer Steckverbindung wieder an dieses angebracht werden kann. Ein weiteres Anzeigeelement 14 stellt aber natürlich keine erforderliche Voraussetzung für die erfindungsgemäße Schweißschulungsanordnung 1 dar.

Bei einem Anzeigeelement 14, vorzugsweise bei einem als Tablet umgesetzten Anzeigeelement 14, kann die Möglichkeit vorgesehen sein, unterschiedliche Frontends, also unterschiedliche graphische Benutzeroberflächen, einzustellen. Ein Frontend des Anzeigeelement 14 kann hierbei an ein in der Simulation nachgebildetes, reales Schweißgerät bzw. an entsprechende Bedienungseinheiten eines realen, in der Simulation nachgebildeten Schweißgeräts angepasst sein, sodass die Bedienungseinheiten verschiedener realer Schweißgeräte realitätsnah simuliert werden können. Auch für das Mixed-Reality-Display 801 des Mixed-Reality-Headsets 800 kann in einer 3D-Ansicht die Möglichkeit vorgesehen sein, das Frontend zu verändern, unter anderem um es ebenso an ein in der Simulation nachgebildetes, reales Schweißgerät anzupassen. Ein Frontend kann vorzugsweise mit Schulungs-Schweißparameter p_s , die in einem virtuellen Handschweißvorgang berücksichtigt werden, synchronisiert und abgestimmt sein, da nicht jedes Frontend zwingend über die gleichen Schulungs-Schweißparameter p_s verfügt.

Hinausgehend über die bloße Darstellung des virtuellen Handschweißvorganges für neben dem Handschweißer 2 weitere Personen kann vorgesehen sein, einen virtuellen Handschweißvorgang über ein Anzeigeelement 14, vorzugsweise über ein portables Tablet, zu steuern. Insbesondere kann auch vorgesehen sein, einen virtuellen Handschweißvorgang ausschließlich über ein portables Tablet zu steuern. Wenn ein abnehmbares Anzeigeelement 14 vorgesehen ist, sind auf dem restlichen Teil der Simulationseinheit 9 vorzugsweise keine weiteren Anzeigeelemente mehr vorhanden, abgesehen von einigen wenigen Status-LEDs zur Signalisierung und/oder Darstellung eines Zustands der Simulationseinheit 9.

Fig.3 zeigt im Vergleich zur bisher diskutierten, erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 eine Schweißschulungsanordnung nach Stand der Technik. Dabei ist augenscheinlich, dass zur Identifikation des Schweißbrenners 21 sowie des Werkstücks 22 durchwegs großflächige Marker (z.B. sogenannte „Bild-Marker“, wie die auf dem Gebiet der Bildverarbeitung hinlänglich bekannten ArUco-Marker, deren Durchmesser typischerweise größer ist als 1cm) eingesetzt werden, die mit einer RGB-Kamera 23 erfasst werden.

Die in Fig.3 gezeigte Ausgestaltung weist den offensichtlichen Nachteil auf, dass nur Komponenten getrackt, also identifiziert und verfolgt, werden können, die sich im RGB-Sichtfeld der RGB-Kamera 23 befinden. Der sogenannte Trackingbereich, in Fig.3 durch den Kreis 24 angedeutet, ist damit durch die Blickführung des Handschweißers 2 und das Sichtfeld der RGB-Kamera eingeschränkt.

Auch kann das Sichtfeld einer RGB-Kamera, welche gleichzeitig Objekte trackt und das Sichtfeld eines Handschweißers 2 erfasst, nicht beliebig ausgedehnt werden. Dahingehende Versuche, beispielsweise unter Verwendung von Weitwinkelobjektiven wie Fischaugenobjektiven, haben gezeigt, dass die Verwendung derartiger Objektive zu Schwindel und Unwohlsein beim Handschweißer 2 führen kann. Auch ist das auf RGB-Kameras basierende Tracking vielfach von den gegebenen Lichtverhältnissen abhängig, wodurch sich bei geänderten Lichtverhältnissen mitunter erhebliche Funktionsstörungen ergeben können.

Die genannten Probleme des Stands der Technik werden anhand der erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 gelöst, wobei zur Lösung dieser Probleme insbesondere das Mixed-Reality-Headset 800 maßgebend ist. Eine mögliche Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Mixed-Reality-Headsets 800 ist in Fig.4 gezeigt. Das dargestellte Mixed-Reality-Headset 800 weist ein Mixed-Reality-Display 801 zur Anzeige der Sequenz von Mixed-Reality-Bildern 12 des virtuellen Handschweißvorganges auf.

Es erübrigt sich an sich zu erwähnen, dass das Mixed-Reality-Display 801 am Mixed-Reality-Headset 800 natürlich so angeordnet ist, dass eine Person, die das Mixed-Reality-Headset 800 trägt, das Mixed-Reality-Display 801 im Blickfeld hat.

Dem gezeigten Mixed-Reality-Headset 800 ist ein vorgegebener geometrischer Headset-Bezugspunkt 802 zugeordnet. Daraus ergibt sich kein statisches, im Zuge des virtuellen Handschweißvorganges unveränderliches Koordinatensystem, welches zur Beschreibung der Raumlagen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handschweißbrenners 6 herangezogen wird. Vielmehr kann der genannte Headset-Bezugspunkt 802 als Ursprung eines beweglichen Koordinatensystems herangezogen werden, welches sich mit der Bewegung des Handschweißers 2 und damit mit der Bewegung des Mixed-Reality-Headsets

800 mitbewegt. Bei aus dem Stand der Technik bekannten Ansätzen, bei denen z.B. RGB-Kameras ortsfest auf Stativen im Raum des Schweißschulungsanordnung angeordnet sind, ist demgegenüber lediglich die Verwendung von statischen Koordinatensystemen möglich. Durch den Bezugspunkt 802 am Mixed-Reality-Headset 800 kann das Tracking, als das Identifizieren und Verfolgen von Objekten wie dem Schulungs-Handschweißbrenners, mitunter entscheidend dynamisiert werden und besser an eine in einem konkreten Einzelfall gegebenen Schweißsituation angepasst werden.

Ein Mixed-Reality-Headset 800 kann überdies ein Gewichts-Ausgleichselement 807 aufweisen, wie anhand der Ausführungsform der Fig.4 beschrieben wird. Das Gewichts-Ausgleichselement 807 wirkt mit einem Drehmoment T_K einem sich aufgrund des Gewichts bzw. der Gewichtsverteilung der RGB-Kamera 803 und/oder des Gewichts der IR-Kamera 804 und/oder des Gewichts des Mixed-Reality-Displays 801 ausbildenden und normal zur Sichtlinie 10 des Mixed-Reality-Headsets 800 wirkenden Drehmoment T_g entgegen.

Im gegenständlichen Zusammenhang wurde festgestellt, dass ein Mixed-Reality-Headset 800, insbesondere bei dessen Verbindung mit der Simulationseinheit 9 mithilfe von Kabeln, so wie in Fig.4 gezeigt, ein teils erhebliches Gesamtgewicht des Mixed-Reality-Headsets 800 annehmen kann.

Ein hohes, unsymmetrisch über den Kopf eines Handschweißers 2 verteiltes Gewicht kann aus offensichtlichen Gründen zu Belastungen von Rücken und Nacken des Handschweißers 2 führen. Durch das Gewichts-Ausgleichselement 807 wird zwar das Gesamtgewicht des Mixed-Reality-Headsets 800 nicht reduziert, jedoch dessen Verteilung über dem Kopf eines Handschweißers 2 symmetrischer gestaltet. Auf diese Weise kann die Dauer von Schuleinheiten teils erheblich ausgedehnt werden, womit sich die Intensität von Schweißschulungen erhöhen lässt und bessere Trainingseffekte und Fortschritte erzielbar sind.

Als Sichtlinie 10 ist hierbei eine Linie zu verstehen, entlang derer der Handschweißer 2 auf das Schulungs-Werkstück 4 blicken würde, wenn der Handschweißer 2 das Mixed-Reality-Headsets 800 nicht tragen würde. In einer bevorzugten Ausgestaltung des Mixed-Reality-Headsets 800 kann die Sichtlinie 10 dabei einer optischen Achse der RGB-Kamera 803 entsprechen.

Wie in Fig.4 gezeigt, weist die RGB-Kamera 803 zumindest eine RGB-Linse 831 auf, deren optische Achse 806 die dem Handschweißer 2 zugewandte Display-Oberfläche 805 unter einem Display-Schnittwinkel γ in einem Display-Schnittpunkt 808 schneidet. Eine optische Achse 806 und die Sichtlinie 10 können insbesondere in Fällen zusammenfallen, in denen der Display-Schnittwinkel γ 90 Grad beträgt. Grundsätzlich ist es vorteilhaft, die RGB-Kamera 803 und das Mixed-Reality-Displays 801 derart anzuordnen, dass der Display-

Schnittwinkel γ zwischen 70 Grad und 110 Grad oder zwischen 80 Grad und 100 Grad oder zwischen 85 Grad und 95 Grad liegt.

Sollten sich die Sichtlinie 10 und die optische Achse 806 nicht decken, ist das Mixed-Reality-Headsets 800 vorzugsweise derart gestaltet, dass die Sichtlinie 10 und die optische Achse 806 einen gemeinsamen Schnittpunkt aufweisen, und in einem Winkel kleiner 10 Grad, oder in einem Winkel kleiner 5 Grad, oder in einem Winkel kleiner 1 Grad auseinanderstreben.

In einer vorteilhaften Weise kann durch das Gewichts-Ausgleichselement 807 zusätzlich eine vorgegebene Kabelführung der zur Verbindung von Simulationseinheit 9 und Mixed-Reality-Headset 800 verwendeten Kabel sichergestellt werden. Insbesondere kann auf diese Weise sichergestellt werden, dass die Kabel den Handschweißer 2 nicht berühren und damit nicht beim virtuellen Handschweißen stören.

In einer bevorzugten Weise ist das Gewichts-Ausgleichselement 807 in seiner Form veränderbar und/oder in seiner Position am Mixed-Reality-Headset 800 verstellbar. Insbesondere kann das Gewichts-Ausgleichselement 807 klappbar und/oder abnehmbar gestaltet sein.

In einer vorteilhaften Weise können im Mixed-Reality-Headset 800 überdies Lautsprecher (nicht dargestellt) angeordnet sein, welche in einem realen Handschweißvorgang zu erwartende Schallgeräusche nachbilden. Es ist bekannt, dass die Akustik ein wesentliches Element beim Schweißen darstellt. So können beim Lichtbogenschweißen Schallgeräusche mit den Eigenschaften des Lichtbogens zusammenhängen, wie der vom Lichtbogen transportierte Leistung oder dem sogenannten Anstellwinkel des Schweißbrenners, woraus sich der Winkel zwischen Lichtbogen und Werkstück ergeben kann. Zur Erzeugung der Schallgeräusche kann in der Simulationseinheit 9 neben dem Simulationsmodell 91 zur Simulation des Schweißvorganges ein Akustikmodell vorgesehen sein. Die Lautsprecher können hierbei derart angeordnet sein, dass sie in der Lage sind, einen räumlichen Stereosound zu liefern, womit dem Handschweißer 2 vielfach eine besonders realistische Darstellung („Immersion“) des virtuellen Handschweißvorganges geboten werden kann.

Fig.5 zeigt ein Mixed-Reality-Headset 800 in Frontansicht und einen Adapter 30 zur Fixierung einer IR-Kamera 804 in vorgegebener Relativposition zu einer RGB-Kamera 803. Hinsichtlich der Positionierung der RGB-Kamera 803 und der IR-Kamera 804 am Mixed-Reality-Headset 800 wurde festgestellt, dass diese vorzugsweise in möglichst starrer Anordnung zueinander anzubringen sind.

Wie insbesondere anhand von Fig.4 und Fig.5 erkannt werden kann, sind die RGB-Kamera 803 und die IR-Kamera 804 zueinander vertikal versetzt. Dieser vertikale Versatz ist bei der Überlagerung der virtuellen Schweißnaht, welche aus IR-Bildern ermittelt wird, auf die mit der RGB-Kamera gewonnenen RGB-Bilder zu berücksichtigen. Hier hat sich gezeigt, dass

zeitliche Änderungen dieses vertikalen Versatzes zwar berücksichtigt werden können, dies aber die Ermittlung des vertikalen Versatzes und den Einsatz signifikant höherer Rechenkapazitäten erfordert.

In Fig.4 und Fig.5 umfasst sowohl die RGB-Kamera 803 als auch die IR-Kamera 804 jeweils zwei optische Linsen. Die Verwendung von zwei optischen Linsen bei der RGB-Kamera 803 ermöglicht hierbei das Erfassen sogenannter stereoskopischer Aufnahmen bzw. Bilder des RGB-Sichtfeldes 809. Unter stereoskopischen Bildern ist bekanntermaßen die Wiedergabe von Bildern mit einem Eindruck von räumlicher Tiefe zu verstehen. Stereoskopische Bilder können hierbei genutzt werden, um dem Handschweißer 2 eine stereoskopische Darstellung des virtuellen Handschweißvorganges zu ermöglichen. Dabei können in einer vorteilhaften Ausführungsform am Mixed-Reality-Display 801 des Mixed-Reality-Headsets 800 in Echtzeit stets zwei stereoskopisch versetzte Mixed-Reality-Bilder 12 gleichzeitig angezeigt werden.

Ferner können noch weitere Sensoren an der RGB-Kamera 803 und/oder am Mixed-Reality-Headset 800 vorgesehen sein, um die bereits an früherer Stelle erwähnte Orientierung des Schulungs-Werkstücks 4, des Schulungs-Handschweißbrenners 6, des Mixed-Reality-Zielobjekts T in der 3D-Schweißumgebung 3 oder allgemein im dreidimensionalen Raum erkennen zu können. Bei diesen Sensoren kann es sich beispielsweise um Gyroskope, Beschleunigungssensoren und/oder Annäherungssensoren handeln. Die von derartigen Sensoren erfassten Sensordaten können in einer vorteilhaften Weise an die Simulationseinheit 9 weitergeleitet werden, in welcher aus den übermittelten Sensordaten die genannte Orientierung im dreidimensionalen Raum ermittelt werden können.

Der Adapter 30 dient damit der vorteilhaften Sicherstellung eines stets (möglichst) konstanten vertikalen Versatzes zwischen RGB-Kamera 803 und die IR-Kamera 804.

Die in Fig.5 gezeigte Ausführungsform des Adapters 30 weist einen starren Montagerahmen 33 auf, an dem zwei Montageelemente 31, 32 in definierter räumlicher Lage angeordnet sind. Anhand des ersten Montageelements 31 wird die RGB-Kamera 803 fixiert, anhand des zweiten Montageelements 32 die IR-Kamera 804.

Fig.6 stellt weiters Sichtfelder 809, 810 einer RGB-Kamera 803 und einer IR-Kamera 804 dar, wie sie sich bei einer erfindungsgemäßen Schweißschulungsanordnung 1 ergeben können. Es ist erkennbar, dass das IR-Sichtfeld 810 wesentlich größer als das RGB-Sichtfeld 809 gestaltet ist. Um gewährleisten zu können, dass von der RGB-Kamera 803 erfasste Objekte, wie ein Schulungs-Werkstück 4 oder ein Schulungs-Handschweißbrenner 6 bei der Ermittlung der virtuellen Schweißnaht 13, die erfindungsgemäße auf mittels der IR-Kamer 804 erfassten IR-Bildern basiert, berücksichtigen zu können, ist es erforderlich, dass sich die Sichtfelder 809, 810 der Kamers, also das RGB-Sichtfeld 809 und das IR-Sichtfeld 810 zumindest zu einem Teil überlappen. „Überlappen“ ist hierbei zu verstehen als ein

zumindest teilweises gegenseitiges Überdecken des RGB-Sichtfeldes und des IR-Sichtfeldes.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das IR-Sichtfeld 810 das RGB-Sichtfeld 809 zu Gänze umschließt, dass also das RGB-Sichtfeld 809 zu Gänze im IR-Sichtfeld 810 enthalten ist. Dies stellt im Rahmen der Erfindung jedoch keine zwingende Voraussetzung dar.

Anhand von Fig.6 kann ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Verwendung von zwei Kamerasystemen erkannt werden. Im gezeigten Fall befindet sich das zur Individualisierung des Schulungs-Werkstücks 4 vorgesehene Referenzmuster 72 außerhalb des RGB-Sichtfeldes 809 der RGB-Kamera 803. Alleine auf Basis von RGB-Bildern wären in diesem Fall keine Identifikation und Verfolgung, also kein Tracking des Schulungs-Werkstücks 4 möglich. Dank des größeren IR-Sichtfeldes kann das Referenzmuster 72 aber dennoch erfasst werden und auch in diesem Fall ohne Probleme ein virtueller Handschweißvorgang durchgeführt werden.

Anhand von Fig.7 wird näher auf die für die gegenständliche Erfindung wesentlichen IR-reflektierenden Referenzmarker eingegangen. Fig.7 zeigen hierzu verschiedene Ausführungen eines Schulungs-Handschweißbrenners 6 aber auch von Schulungs-Schulungs-Zusatzwerkstoffen 7, wie sie zur Simulation von Elektroden-Handschweißverfahren und WIG-Schweißverfahren verwendet werden können. Die nachfolgenden Ausführungen sind aber genauso für Referenzmuster 72 für Schulungs-Werkstücke 4 gültig.

Die individualisierenden Referenzmuster 72, 74 sind erfindungsgemäß derart ausgestaltet, dass bereits die Erfassung nur eines Teils des jeweiligen Referenzmusters 72, 74 reicht, um das Objekt, an dem ein entsprechendes Referenzmusters 72, 74 angebracht ist, zu identifizieren.

Je nach Art und Ausführung eines Schulungs-Handschweißbrenners 6 kann es erforderlich sein, verschiedene Arten von Schweißelektroden in Form von virtuellen Schweißelektroden in der Simulation in der Simulationseinheit 9 zu berücksichtigen. Bevorzugt kann die Type der virtuellen Schweißelektrode dabei mit der Type des Schulungs-Handschweißbrenners 6 mitidentifiziert werden. Es ist aber auch denkbar, eine Schweißelektrode als Bestandteil eines Schulungs-Handschweißbrenners 6 vorzusehen und diese Schweißelektrode ebenfalls mit IR-reflektierenden Referenzmarkern 73 zu versehen, sodass eine Schweißelektrode auch direkt identifiziert und in der Folge als virtuelle Schweißelektrode in der Simulation berücksichtigt werden kann.

Hinsichtlich der gegenständlich betrachteten Schulungs-Handschweißbrenner 6 können überdies verschiedene Überprüfungen vorgesehen sein, die vorzugsweise in der

Simulationseinheit 9 vorgenommen werden. So kann eine Überprüfung von Anschlüssen eines Schulungs-Handschweißbrenners 6, wie eines Masseanschlusses und/oder eines Brenneranschlusses vorgesehen sein, oder eine Überprüfung, ob der richtige Schulungs-Handschweißbrenner 6 verwendet wird, was insbesondere im Rahmen des MIG/MAG-Schweißens Relevanz besitzt. Weiters kann überprüft werden, ob ein Schulungs-Handschweißbrenners 6 an der richtigen elektrischen Polarität angeschlossen ist, oder ob ein Masseanschluss mit einem Schulungs-Werkstück 4 korrekt verbunden ist, oder ob ein Masseanschluss allgemein richtig angeschlossen ist und/oder ob ein Schweißkreis geschlossen ist. Die genannten Überprüfungen bzw. die Ergebnisse dieser Überprüfungen können am Mixed-Reality-Display 801 graphisch ausgegeben werden, wobei insbesondere auf fehlerhafte oder fehlende Verbindungen aufmerksam gemacht werden kann, und darüber hinaus im Fall einer fehlerhaften oder fehlenden Verbindung Hinweise für eine geeignete Korrektur vorgesehen sein können.

Dazu kann im ersten Referenzmuster 72 zur Individualisierung des Schulungs-Werkstücks 4 ein erster Abstand zwischen den IR-reflektierenden Referenzmarkern 71 vorgesehen sein, um welchen die IR-reflektierenden Referenzmarkern 71 von den jeweils benachbarten IR-reflektierenden Referenzmarkern 71 beabstandet sind, und im zweiten Referenzmuster 72 zur Individualisierung des Schulungs-Werkstücks 4 ein zweiter Abstand, welcher vom ersten Abstand verschieden ist.

Auch andere Eigenschaften von Mustern können zur Unterscheidung der eingesetzten Referenzmuster 72, 74 eingesetzt werden, wie unterschiedliche Gitterstrukturen. Auch können die IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 voneinander verschiedene Fraktale bilden. Voneinander verschiedene Fraktale können beispielsweise auf Basis von verschiedenen Mandelbrot-Mengen erzeugt werden. Referenzmuster können aber auch mithilfe von Zufallsgeneratoren erzeugt werden oder empirisch im Rahmen der Auslegung der Schweißschulungsanordnung 1 festgelegt werden.

Ein wichtiger Vorteil der erfindungsgemäßen Verwendung von IR-reflektierenden Referenzmarker ist, dass im Vergleich zum Stand der Technik wesentlich kleinere Referenzmarker eingesetzt werden können. Konkret können die Durchmesser der IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 in einem Bereich zwischen 0,1 mm und 5 mm oder in einem Bereich zwischen 0,1 mm und 3 mm oder in einem Bereich zwischen 0,1 mm und 1 mm gewählt werden.

Die Durchmesser der IR-reflektierenden Referenzmarker 71, 73 können auch zur Unterscheidung verschiedener Referenzmuster 72, 74 herangezogen werden. So können im ersten Referenzmuster 72 IR-reflektierende Referenzmarker 71 mit einem ersten Durchmesser verwendet werden, beispielsweise von 0,5 mm oder 1,5 mm oder 2,5 mm oder

3,5 mm, und im zweiten Referenzmuster 74 IR-reflektierende Referenzmarker 74 mit einem zweiten Durchmesser eingesetzt werden, beispielsweise von 0,1 mm oder 1,1 mm oder 2,1 mm oder 3,1 mm.

Um eine Erfassung der von den IR-reflektierenden Referenzmarkern individualisierten Objekten zuverlässig gewährleisten zu können, ist sicherzustellen, dass die nicht von IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 bedeckten Teile der Oberflächen der Objekte weniger IR-reflektierend sind als die Marker selbst, dass also die zwischen den IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 liegenden Teile der Oberfläche des Schulungs-Werkstücks 4 und die zwischen den IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 liegenden Teile der Oberfläche des Schulungs-Handscheißbrenners 6 und die zwischen den IR-reflektierenden Referenzmarkern 71, 73 liegenden Teile der Oberfläche des Mixed-Reality-Zielobjekts T weniger IR-reflektierend sind als die IR-reflektierenden Referenzmarker 71, 73, 75.

In einer weiteren Ausführungsform können die Reflexionseigenschaften der Referenzmarker und der Oberflächen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handscheißbrenners 6 auch invers zu den bisher beschriebenen Ausführungsformen gestaltet sein. Demnach können die Oberflächen des Schulungs-Werkstücks 4 und des Schulungs-Handscheißbrenners 6 stärker reflektierend als die Referenzmarker gestaltet sein. Auch auf diese Weise können von der IR-Kamera detektierbare Referenzmuster an Schulungs-Werkstück 4 und des Schulungs-Handscheißbrenner 6 herbeigeführt werden.

Es sei angemerkt, dass der Schulungs-Handscheißbrenner 6 als realer Handscheißbrenner, beispielsweise als realer MIG-Handscheißbrenner oder als realer MAG-Handscheißbrenner oder realer TIG-Handscheißbrenner oder realer E-Handscheißbrenner, ausgeführt sein kann. Im Rahmen der gegenständlichen Erfindung ist es also möglich, von einer realen Schweißanordnung zum realen Schweißen einen realen Handscheißbrenner zu entnehmen, diesen mit IR-reflektierenden Referenzmarker 73 mit einem den Handscheißbrenner individualisierenden Referenzmuster 74 auszustatten, und den realen Handscheißbrenner damit bei der Durchführung des virtuellen Handscheißvorganges als Schulungs-Handscheißbrenner 6 einzusetzen.

In einer vorzugsweisen Ausgestaltung eines Schulungs-Handscheißbrenners 6 können am Schulungs-Handscheißbrenner 6 wie auf einem realen Handscheißbrenner Bedienelemente S1, S2, wie Schalter, Taster, Schieberegler usw., vorgesehen sein. Bei realen Handscheißbrennern werden derartige Bedienelemente S1, S2 dazu herangezogen, um einen Schweißvorgang zu steuern, beispielsweise zu beginnen, also z.B. einen Lichtbogen zu zünden, oder eine Schweißstromstärke zu variieren, oder um eine Drahtvorschubgeschwindigkeit zu verändern. Bevorzugterweise kann ein Schulungs-

Handschweißbrenners 6 über die gleichen Bedienelemente S1, S2 verfügen und beispielsweise mithilfe einer Kabelverbindung durch diese Bedienelemente S1, S2 erzeugten Steuersignale an die Simulationseinheit 9 weitergeben. In der Simulationseinheit 9 kann die Wirkung dieser Steuersignale in der Folge in der Simulation des Handschweißvorganges berücksichtigt werden, also die simulierte Schweißung begonnen oder unterbrochen werden, ein simulierter Drahtvorschub beschleunigt oder gebremst werden oder ein simulierter Schweißstrom erhöht oder reduziert werden.

In diesem Zusammenhang wurde erkannt, dass aufgrund der erfindungsgemäßen Gestaltung der Referenzmarker 71, 73 eine fehlerfreie Durchführung von virtuellen Handschweißvorgängen sogar noch möglich ist, wenn sich die RGB-Kamera 803 so nahe am Schulungs-Werkstück 4 befindet, dass es zur Berührung von RGB-Kamera 803 und Schulungs-Werkstück 4 kommt.

Fig.8 zeigt mehrere mögliche Ausgestaltungsmöglichkeiten eines ersten Referenzmusters 72 zur Individualisierung verschiedener Schulungs-Werkstücke 4. Es ist erkennbar, dass die IR-Referenzmarker 71 aufgrund ihrer geringen Größe auch auf den Stirnseiten und Seitenflächen der Schulungs-Werkstücke 4 angebracht werden können. Die zu Fig.7 gemachten Ausführungen zur Gestaltung der IR-reflektierenden Referenzmarker 71 gelten ohne Einschränkung auch für die IR-reflektierenden Referenzmarker 71 auf Schulungs-Werkstücken 4 wie in Fig.8.

Die IR-reflektierenden Referenzmarker 71, 73 können beispielsweise in Form einer Klebefolie auf die Oberfläche am Schulungs-Werkstück 4 aufgebracht werden oder aber auch auf die Oberfläche des Schulungs-Werkstücks 4 aufgemalt, aufgedruckt, aufgeprägt werden oder auch durch ein Beschichtungsverfahren aufgebracht werden. Ferner wäre es auch möglich, durch Energieeinbringung auf die Oberfläche wie z.B. in Form eines Gravierungslasers derartige IR-reflektierende Referenzmarker 71, 73 auf einer Oberfläche eines Schulungs-Werkstücks 4 vorzusehen.

Fig.9 zeigt eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit eines ersten Referenzmusters 72 zur Individualisierung eines Schulungs-Werkstücks 4. Hervorzuheben am in Fig.9 gezeigten Referenzmuster 72 sind zwei im oberen Teil des Schulungs-Werkstücks 4 angeordnete Mulden 16. Die Mulden 16 stellen Vertiefungen, also Absenkungen der Oberfläche des Schulungs-Werkstücks 4 dar. In diesen Vertiefungen sind IR-reflektierende Referenzmarker 71 angeordnet, die aufgrund der Vertiefung aber nur aus bestimmten Sichtwinkeln von der IR-Kamera 804 erfassbar sind.

Fig.10 zeigt eine Mulde 16 zur Anordnung eines IR-reflektierenden Referenzmarkers 71 in Detailansicht.

Durch den Umstand, dass in einer Mulde 16 angeordnete IR-reflektierende Referenzmarker 71 nur aus bestimmten Sichtwinkeln von der IR-Kamera 804 erfassbar sind, kann bei deren Detektion beispielsweise auf die räumliche Orientierung des Schulungs-Werkstücks 4 geschlossen werden. So sind in der in Fig.9 gezeigten Situation beide in den Mulden 16 angeordneten IR-reflektierende Referenzmarker 71 ersichtlich, was auf einer Orientierung des Schulungs-Werkstücks 4 schließen lässt, bei der eine Längsseite des Schulungs-Werkstücks 4 der IR-Kamera 804 zugewandt ist. Ist jedoch nur ein in einer Mulde 16 angeordneter IR-reflektierender Referenzmarker 71 ersichtlich, ist von einer Orientierung des Schulungs-Werkstücks 4 auszugehen, bei der der IR-Kamera 804 eine Querseite zugewandt ist.

Fig.11a bis 11c zeigen weiters die Aktivierung eines Menüs M auf dem Mixed-Reality-Display des Mixed-Reality-Headsets 800 bei Erfassung eines Mixed-Reality-Zielobjekts T durch die IR-Kamera 804. Um die Aktivierung des Menüs M zu ermöglichen, ist am Mixed-Reality-Zielobjekt T eine dritte Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern 75 in einem das Mixed-Reality-Zielobjekt T individualisierenden dritten Referenzmuster 76 angeordnet. Wird zumindest ein Teil des dritten Referenzmusters 76 von der IR-Kamera 804 erfasst, wird die Darstellung des Menüs M am Mixed-Reality-Display 801 ausgelöst. Das Mixed-Reality-Zielobjekt T kann dazu in gewünschter Position in der 3D-Schweißumgebung 3 angeordnet werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann die Orientierung des Menüs M von der räumlichen Orientierung des Mixed-Reality-Zielobjekts T abhängig sein, sodass sich die räumliche Orientierung des Menüs M ändert, wenn sich die räumliche Orientierung Mixed-Reality-Zielobjekts T ändert.

In einer weiteren vorzugsweisen Ausgestaltung der Erfindung kann auch an einem Schulungs-Werkstück 4 ein weiteres Referenzmuster 77 angeordnet sein, welches ebenso ein Menü M zu Anzeige bringen kann. Wie im Fall des Mixed-Reality-Zielobjekts T kann die Orientierung des angezeigten Menüs M in diesem Fall von der räumlichen Orientierung des Schulungs-Werkstück 4 abhängig gemacht werden.

Anhand des angezeigten Menüs M kann eine Reihe von Funktionen umgesetzt werden. So kann das Menü M ausgestaltet sein, um den zumindest einen Schulungs-Schweißparameter p_s zu modifizieren, wodurch letztlich der gesamte virtuelle Handschweißvorgang modifiziert und verändert werden kann.

Die oben beschriebene Darstellung eines Menüs M kann aber auch auf einem weiteren Anzeigeelement 14 erfolgen, welches beispielsweise in Form eines Tablets lösbar mit der Simulationseinheit 9 verbunden ist. Auf diese Weise können neben dem Handschweißer 2 auch andere Personen das Menü verfolgen und gegebenenfalls auch bedienen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, ein Smartphone mit der Schweißschulungsanordnung 1 zu synchronisieren und das Display des Smartphones zur Anzeige des Menüs heranzuziehen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann der Schulungs-Handschweißbrenner 6 mit einem weiteren Bedienelement ausgestattet sein, welches die Bedienung des angezeigten Menüs M erlaubt.

Zu diesem Zweck kann zunächst die Orientierung des Schulungs-Handschweißbrenner 6 auf die bereits beschriebene Art und Weise ermittelt werden. Darauf aufbauend kann ein durch die Orientierung des Schulungs-Handschweißbrenner 6 identifiziertes Menü-Element im Menü M ermittelt werden, beispielsweise durch die Bestimmung eines Menü-Elements, welches von einer im Zuge der Identifikation ermittelten, vom Schulungs-Handschweißbrenner 6 ausgehenden Gerade geschnitten wird. Ist ein Menü-Element identifiziert, kann es durch Betätigung des weiteren Bedienelements aktiviert und/oder deaktiviert werden.

Die Betätigung/Bestätigung von Menü-Elementen des Menüs M kann einerseits durch Anzielen einer von einem Menü-Element ausgehenden, virtuellen Geraden des Menüs, wobei die virtuelle Gerade dabei auch angezeigt werden kann, und durch anschließenden Tastendruck eines Bedienelements S1, S2 erfolgen, wie in den Figuren 11a und 11b gezeigt. Weiters kann zur Auswahl eines Menü-Elements auch die auf dem Gebiet der Mensch-Computer-Interaktion etablierte Methode des „Dwell-Based-Pointings“ („Anzielen und Laden“) eingesetzt werden, und ebenso kann ein Menü-Element durch virtuelles Berühren mit dem Schulungs-Handschweißbrenner 6 erfolgen.

Weiters zeigen Fig. 12a und Fig. 12b eine sogenannte Schweißwurzel 15 als Gegenstand einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung. In Fig. 12a ist die Unterseite I eines Schulungs-Werkstücks 4 gezeigt, in Fig. 12b die gegenüberliegende Oberseite II. An der in Fig. 12b gezeigten Oberseite II ist eine virtuelle Schweißnaht 13 zu sehen, welche auf der Unterseite I zu einer sogenannten Schweißwurzel 15 führt.

Konkret kann die Simulationseinheit 9 in einer vorteilhaften Weise ausgestaltet sein, um eine durch den virtuellen Handschweißvorgang am Schulungs-Werkstück 4 erzeugte virtuelle Schweißwurzel 15 oder eine virtuelle Durchschweißung oder einen virtuellen Längsriss oder einen virtuellen Querriss durch die Schweißnaht 13 zunächst zu ermitteln. Aufbauend auf einer derartigen Ermittlung kann die Simulationseinheit 9 vorteilhafterweise ausgestaltet sein, die ermittelte virtuelle Schweißwurzel 15 oder die ermittelte virtuelle Durchschweißung oder den ermittelten virtuellen Längsriss oder den ermittelten virtuellen Querriss dem zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegenden RGB-Bild zu überlagern.

Die Darstellung einer Schweißwurzel 15 oder eines Querrisses oder eines Längsrisses ist insbesondere in Fällen von Interesse, in denen während des virtuellen Handschweißvorganges das Schulungs-Werkstück 4 analysiert wird, beispielsweise indem das Schweißen unterbrochen wird und das Schulungs-Werkstück 4 von allen Seiten betrachtet wird, beispielsweise von der Unterseite, oder indem das Schulungs-Werkstück 4 gedreht wird. Die Möglichkeit, in solchen Fällen eine Schweißwurzel 15 zu betrachten oder zu untersuchen, ob es zu einer Durchschweißung des Werkstücks gekommen ist, macht den virtuellen Schweißvorgang mitunter in einem entscheidenden Maß realistischer.

Patentansprüche

1. Schweißschulungsanordnung (1) zur Durchführung eines virtuellen Handschweißvorganges, aufweisend
 - ein Schulungs-Werkstück (4);
 - einen bewegbaren Schulungs-Handschweißbrenner (6);
 - eine erste Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern (71), welche in einem das Schulungs-Werkstück (4) individualisierenden ersten Referenzmuster (72) am Schulungs-Werkstück (4) angeordnet sind;
 - eine zweite Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern (73), welche in einem den Schulungs-Handschweißbrenner (6) individualisierenden zweiten Referenzmuster (74) am Schulungs-Handschweißbrenner (6) angeordnet sind;
 - ein Mixed-Reality-Headset (800), aufweisend
 - a) einen vorgegebenen geometrischen Headset-Bezugspunkt (802);
 - b) ein Mixed-Reality-Display (801) zur Anzeige einer Sequenz von Mixed-Reality-Bildern (12) des virtuellen Handschweißvorganges;
 - c) eine RGB-Kamera (803) mit einem räumlichen RGB-Sichtfeld (809) zur Erfassung von RGB-Bildern von sich im RGB-Sichtfeld (809) befindenden Objekten, wobei sich während der Durchführung des virtuellen Handschweißvorganges zumindest ein Teil des Schulungs-Werkstücks (4) und zumindest ein Teil des Schulungs-Handschweißbrenners (6) im RGB-Sichtfeld (809) befinden, und wobei das Mixed-Reality-Display (801) und die RGB-Kamera (803) entlang einer Sichtlinie (10) des Mixed-Reality-Headsets (800) angeordnet sind;
 - d) eine IR-Kamera (804), welche in einer vorgegebenen Relativposition relativ zur RGB-Kamera (803) angeordnet ist, mit einem räumlichen IR-Sichtfeld (810) zur Erfassung von IR-Bildern von sich im IR-Sichtfeld (810) befindenden IR-reflektierenden Referenzmarkern (71, 73), wobei das IR-Sichtfeld (810) größer als das RGB-Sichtfeld (809) ist und wobei sich das IR-Sichtfeld (810) und das RGB-Sichtfeld (809) zumindest teilweise überlappen, wobei sich während der Durchführung des virtuellen Handschweißvorganges zumindest ein Teil des ersten Referenzmusters (72) und zumindest ein Teil des zweiten Referenzmusters (74) im IR-Sichtfeld (810) befinden;
 - eine Simulationseinheit (9), welche ausgestaltet ist, um
 - a) aus den mit den IR-Bildern erfassten Teilen des ersten sowie des zweiten Referenzmusters (72, 74) eine Geometrie und/oder eine Form und/oder eine Type des Schulungs-Handschweißbrenners (6) sowie des Schulungs-Werkstücks (4) und einen zeitlichen Verlauf der Raumlagen des Schulungs-Handschweißbrenners (6)

sowie des Schulungs-Werkstücks (4) relativ zum Headset-Bezugspunkt (802) zu ermitteln;

- b) unter Berücksichtigung zumindest eines vorgegebenen Schulungs-Schweißparameters (p_s) und unter Berücksichtigung eines, aus dem zeitlichen Verlauf der Raumlage des Schulungs-Handschweißbrenners (6) ermittelten, zeitlichen Positionsverlaufs einer virtuellen Schweißelektrode des Schulungs-Handschweißbrenners (6) eine virtuelle Schweißnaht (13) am Schulungs-Werkstück (4) zu ermitteln;
- c) zumindest jenen Teil der bis zu einem aktuellen Zeitpunkt T_{akt} des virtuellen Handschweißvorganges ermittelten virtuellen Schweißnaht (13), welcher innerhalb des zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegenden RGB-Sichtfeldes (810) liegt, dem zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegenden RGB-Bild zu überlagern, um ein Mixed-Reality-Bild (12) des virtuellen Handschweißvorganges zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} zu erzeugen;
- d) das ermittelte Mixed-Reality-Bild (12) an das Mixed-Reality-Display (801) zu übermitteln, um es als Teil der Sequenz von Mixed-Reality-Bildern (12) des virtuellen Handschweißvorganges am Mixed-Reality-Display (801) anzuzeigen.

2. Schweißschulungsanordnung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Mixed-Reality-Zielobjekt (T) vorgesehen ist, an welchem eine dritte Mehrzahl von IR-reflektierenden Referenzmarkern (75) in einem das Mixed-Reality-Zielobjekt (T) individualisierenden dritten Referenzmuster (76) angeordnet ist, **dass** das Mixed-Reality-Display (801) ausgestaltet ist, um bei Erfassung zumindest eines Teils des dritten Referenzmusters (76) durch die IR-Kamera (804) ein Menü zur Änderung des zumindest einen Schulungs-Schweißparameters (p_s) am Mixed-Reality-Display (801) anzuzeigen, **und dass** der zumindest eine Schulungs-Schweißparameter (p_s) durch Bedienung des am Mixed-Reality-Display (801) angezeigten Menüs modifizierbar ist.

3. Schweißschulungsanordnung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Durchmesser der IR-reflektierenden Referenzmarker (71, 73, 75) in einem Bereich zwischen 0,1 mm und 5 mm oder in einem Bereich zwischen 0,1 mm und 3 mm oder in einem Bereich zwischen 0,1 mm und 1 mm liegen.

4. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwischen den IR-reflektierenden Referenzmarkern (71, 73, 75) liegenden Teile der Oberfläche des Schulungs-Werkstücks (4) und die zwischen den IR-reflektierenden Referenzmarkern (71, 73, 75) liegenden Teile der Oberfläche des Schulungs-Handschweißbrenners (6) und die zwischen den IR-reflektierenden Referenzmarkern (71, 73, 75) liegenden Teile der Oberfläche des Mixed-Reality-Zielobjekts

(T) weniger IR-reflektierend sind als die IR-reflektierenden Referenzmarker (71, 73, 75) oder umgekehrt.

5. Schweißschulungsanordnung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mixed-Reality-Headset (800) ein Gewichts-Ausgleichselement (807) aufweist, welches einem, sich aufgrund des Gewichts der RGB-Kamera (803) und/oder des Gewichts der IR-Kamera (804) und/oder des Gewichts des Mixed-Reality-Displays (801) ausbildenden und normal zur Sichtlinie (10) des Mixed-Reality-Headsets (800) wirkenden Drehmoment (T_g) entgegenwirkt.

6. Schweißschulungsanordnung (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gewichts-Ausgleichselement (807) in seiner geometrischen Form veränderbar und/oder in seiner Position am Mixed-Reality-Headset (800) verstellbar ist.

7. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine vorgegebene Schulungs-Schweißparameter (p_s) einer Werkstückgeometrie oder einer Schweißstromstärke oder einer Schweißspannung oder einer Schweißgeschwindigkeit oder einer Wartezeit oder einer Vorheiztemperatur oder einer Drahtvorschubgeschwindigkeit oder einer Lichtbogenlänge oder einer Schweißart entspricht.

8. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Simulationseinheit (9) ein, vorzugsweise von der Simulationseinheit (9) lösbares, Anzeigeelement (14) zur Anzeige der Sequenz von Mixed-Reality-Bildern (12) des virtuellen Handschweißvorganges aufweist.

9. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Werkstückhalterung (5) vorgesehen ist, an der das Schulungs-Werkstück (4) montierbar ist.

10. Schweißschulungsanordnung (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schulungs-Werkstück (4) magnetisch an der Werkstückhalterung (5) montierbar ist.

11. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Simulationseinheit (9) am Mixed-Reality-Headset (800) angeordnet ist.

12. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Simulationseinheit (9) ausgestaltet ist, um ausgehend von der ermittelten virtuellen Schweißnaht (13) in einer nachfolgenden mechanischen Simulation ein virtuelles metallurgisches Gefüge und/oder einen virtuellen spannungsinduzierten Verzug und/oder eine virtuelle Kornstruktur des metallurgischen

Gefüges, welche sich als Folge der virtuellen Schweißnaht (13) im Schulungs-Werkstück (4) einstellen können, zu ermitteln.

13. Schweißschulungsanordnung (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Simulationseinheit (9) ausgestaltet ist, um anhand einer der in der nachfolgenden mechanischen Simulation ermittelten Größen einen Schweiß-Qualitätsparameter, welcher eine Qualität und/oder eine Güte der virtuellen Schweißnaht (13) beschreibt, zu ermitteln.

14. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Simulationseinheit (9) ausgestaltet ist, um den vorliegenden RGB-Bildern eine vorgegebene, durch den virtuellen Handschweißvorgang zu erzeugende, virtuelle Ideal-Schweißnaht (131) zu überlagern, **und dass** das Mixed-Reality-Display (801) ausgestaltet ist, um die mit der virtuellen Ideal-Schweißnaht (131) überlagerten RGB-Bilder anzuzeigen.

15. Schweißschulungsanordnung (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Simulationseinheit (9) ausgestaltet ist, einen Naht-Qualitätsparameter zu ermitteln, welcher eine Abweichung zwischen der ermittelten virtuellen Schweißnaht (13) und der vorgegebenen Ideal-Schweißnaht (131) beschreibt.

16. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Simulationseinheit (9) ausgestaltet ist, um eine durch den virtuellen Handschweißvorgang am Schulungs-Werkstück (4) erzeugte virtuelle Schweißwurzel (15) oder eine virtuelle Durchschweißung oder einen virtuellen Längsriss oder einen virtuellen Querriss zu ermitteln, **und dass** die Simulationseinheit (9) ausgestaltet ist, die ermittelte virtuelle Schweißwurzel (15) oder die ermittelte virtuelle Durchschweißung oder den ermittelten virtuellen Längsriss oder den ermittelten virtuellen Querriss dem zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegenden RGB-Bild zu überlagern.

17. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schulungs-Werkstück (4) zumindest eine Mulde oder zumindest eine Vertiefung aufweist **und dass** in dieser zumindest einen Mulde oder in dieser zumindest einen Vertiefung ein Referenzmarker (71) des ersten Referenzmusters (72) angeordnet ist.

18. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schulungs-Handschweißbrenner (6) einem realen WIG-Handschweißbrenner oder einem realen MIG-Handschweißbrenner oder einem realen MAG-Handschweißbrenner oder einem realen E-Handschweißbrenner entspricht.

19. Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Mixed-Reality-Headset (800) weitere Sensoren

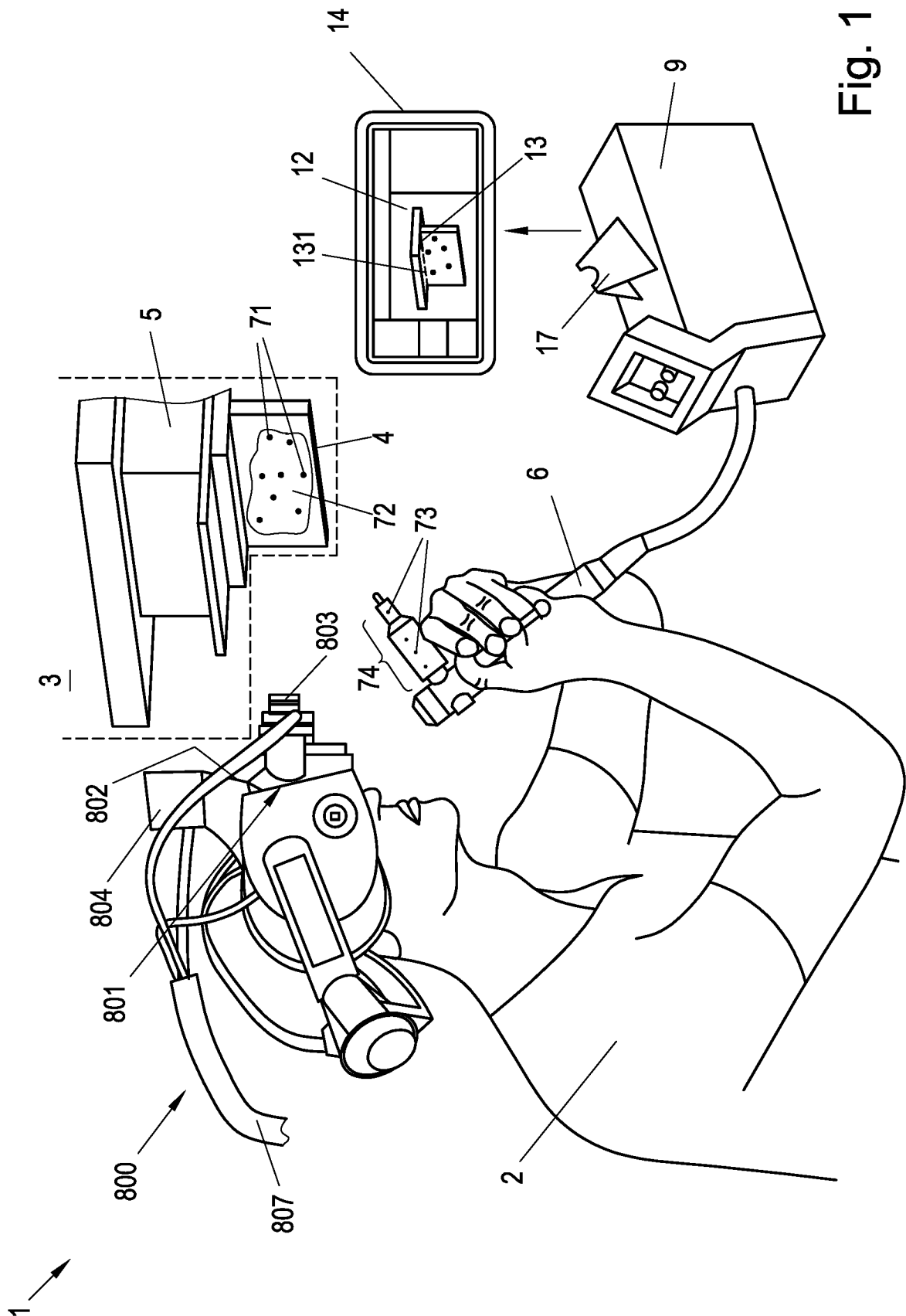
vorgesehen sind, vorzugsweise ein Gyroskop und/oder ein Beschleunigungssensor und/oder ein Annäherungssensor, welche Sensordaten zur Ermittlung der räumlichen Orientierung des Schulungs-Werkstücks (4) und/oder des Schulungs-Handschweißbrenners (6) und/oder des Mixed-Reality-Zielobjekts (T) im dreidimensionalen Raum erfassen, **dass** die von den weiteren Sensoren erfassten Sensordaten an die Simulationseinheit (9) übermittelt werden **und dass** die Simulationseinheit (9) aus den übermittelten Sensordaten die räumliche Orientierung des Schulungs-Werkstücks (4) und/oder des Schulungs-Handschweißbrenners (6) und/oder des Mixed-Reality-Zielobjekts (T) im dreidimensionalen Raum ermittelt.

20. Verfahren zur Durchführung eines virtuellen Handschweißvorganges mit einer Schweißschulungsanordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

- ein Handschweißer (2) das Mixed-Reality-Headset (800) der Schweißschulungsanordnung (1) trägt;
- der Handschweißer (2) den Schulungs-Handschweißbrenner (6) der Schweißschulungsanordnung (1) zur Erzeugung einer virtuellen Schweißnaht (13) am Schulungs-Werkstück (4) der Schweißschulungsanordnung (1) manuell bewegt;
- mittels der RGB-Kamera (803) der Schweißschulungsanordnung (1) RGB-Bilder der sich im RGB-Sichtfeld (809) der RGB-Kamera (803) befindenden Teile des Schulungs-Handschweißbrenners (6) und des Schulungs-Werkstücks (4) erfasst werden;
- mittels der IR-Kamera (804) der Schweißschulungsanordnung (1) IR-Bilder von sich im IR-Sichtfeld (810) der IR-Kamera (804) befindenden IR-reflektierenden Referenzmarkern (71, 73) erfasst werden;
- in der Simulationseinheit (9) der Schweißschulungsanordnung (1):
 - a) eine Geometrie und/oder eine Form und/oder eine Type des Schulungs-Handschweißbrenners (6) sowie des Schulungs-Werkstücks (4) aus den erfassten IR-Bildern ermittelt wird;
 - b) ein zeitlicher Verlauf der Raumlagen des Schulungs-Handschweißbrenners (6) und des Schulungs-Werkstücks (4) relativ zum Headset-Bezugspunkt (802) des Mixed-Reality-Headsets (800) der Schweißschulungsanordnung (1) aus den mit den IR-Bildern erfassten Teilen des ersten sowie des zweiten Referenzmusters (72, 74) ermittelt wird;
 - c) eine virtuelle Schweißnaht (13) am Schulungs-Werkstück (4) unter Berücksichtigung zumindest eines vorgegebenen Schulungs-Schweißparameters (p_s) und eines zeitlichen Positionsverlauf einer virtuellen Schweißelektrode aus dem zeitlichen Verlauf der Raumlage des Schulungs-Handschweißbrenners (6) ermittelt wird;
 - d) zumindest jener Teil der bis zu einem aktuellen Zeitpunkt T_{akt} des virtuellen Handschweißvorganges ermittelten virtuellen Schweißnaht (13), welcher innerhalb des zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegenden RGB-Sichtfeldes (809) liegt, über das

zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} vorliegende RGB-Bild überlagert wird, um ein Mixed-Reality-Bild (12) des virtuellen Handschweißvorganges zum aktuellen Zeitpunkt T_{akt} zu erzeugen;

- das ermittelte Mixed-Reality-Bild (12) als Teil einer Sequenz von Mixed-Reality-Bildern (12) des virtuellen Handschweißvorganges am Mixed-Reality-Display (801) des Mixed-Reality-Headsets (800) der Schweißschulungsanordnung (1) angezeigt wird.



2/6

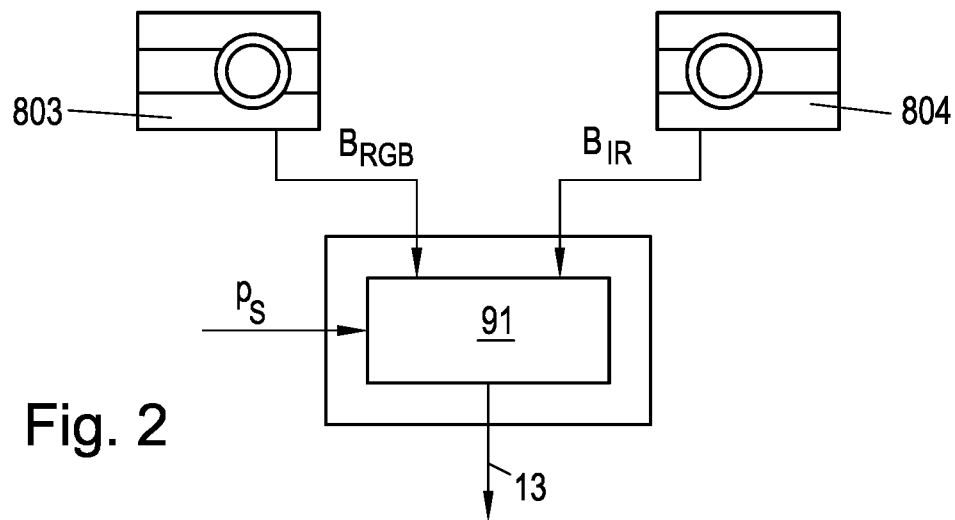


Fig. 2

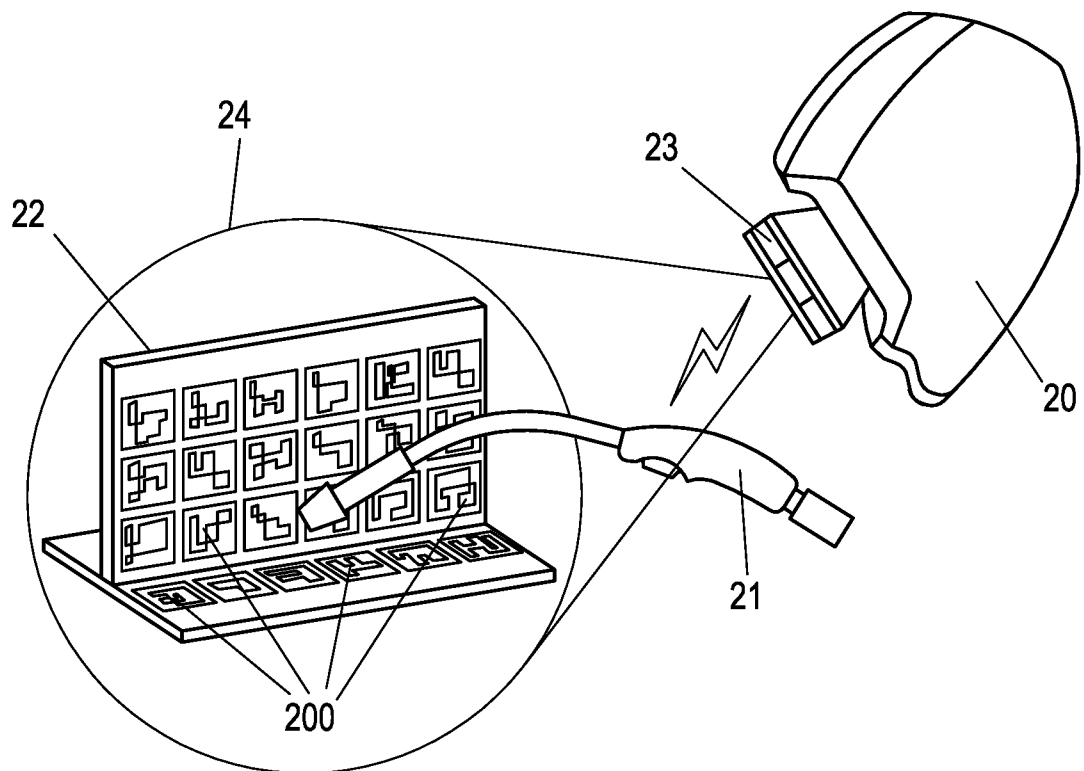


Fig. 3

(Stand der Technik)

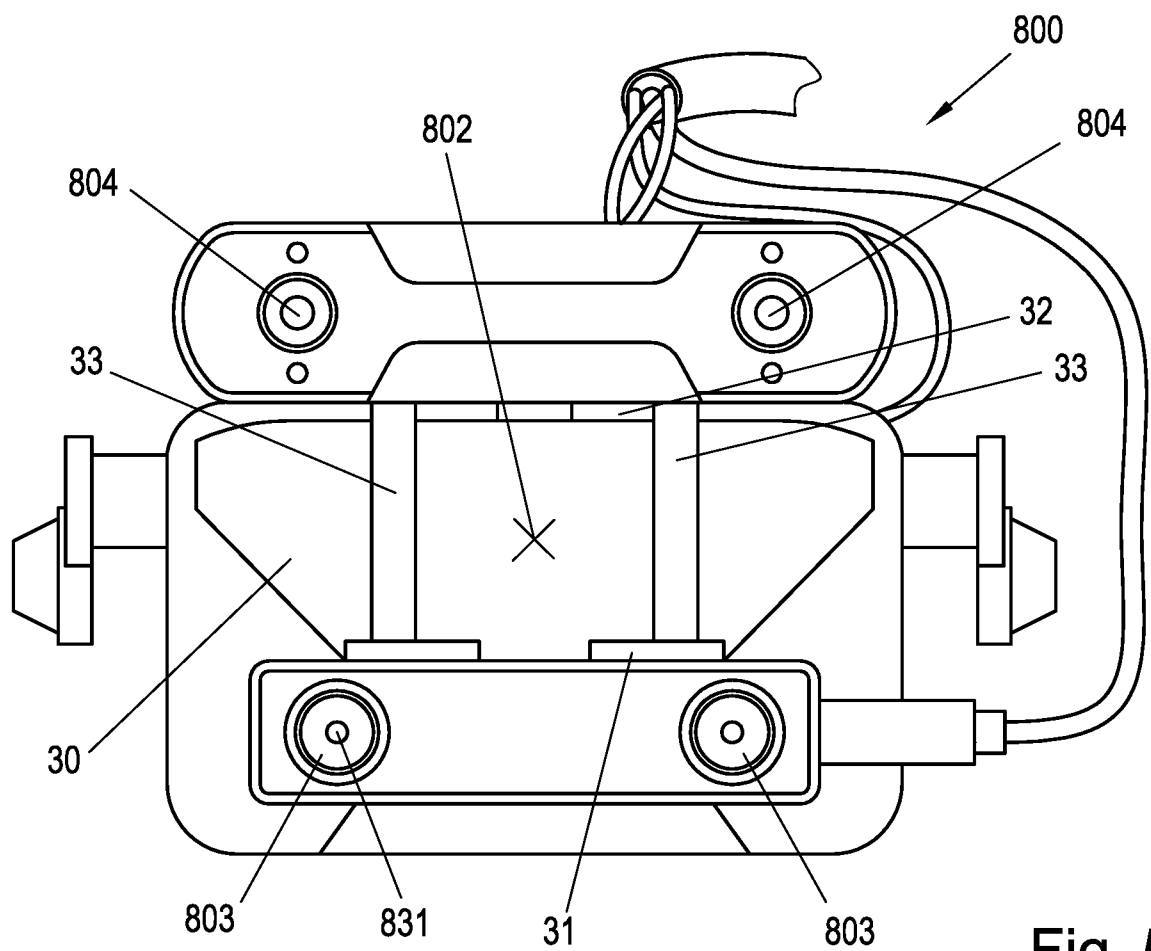
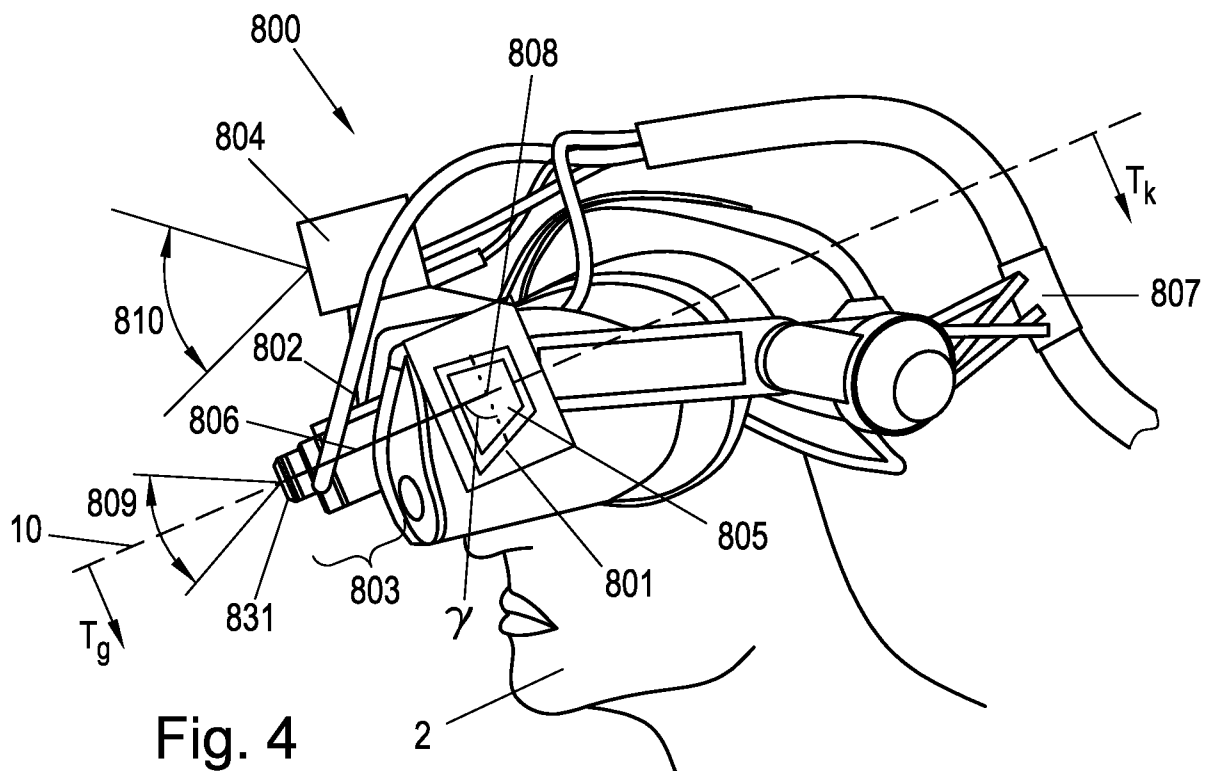


Fig. 5

4/6

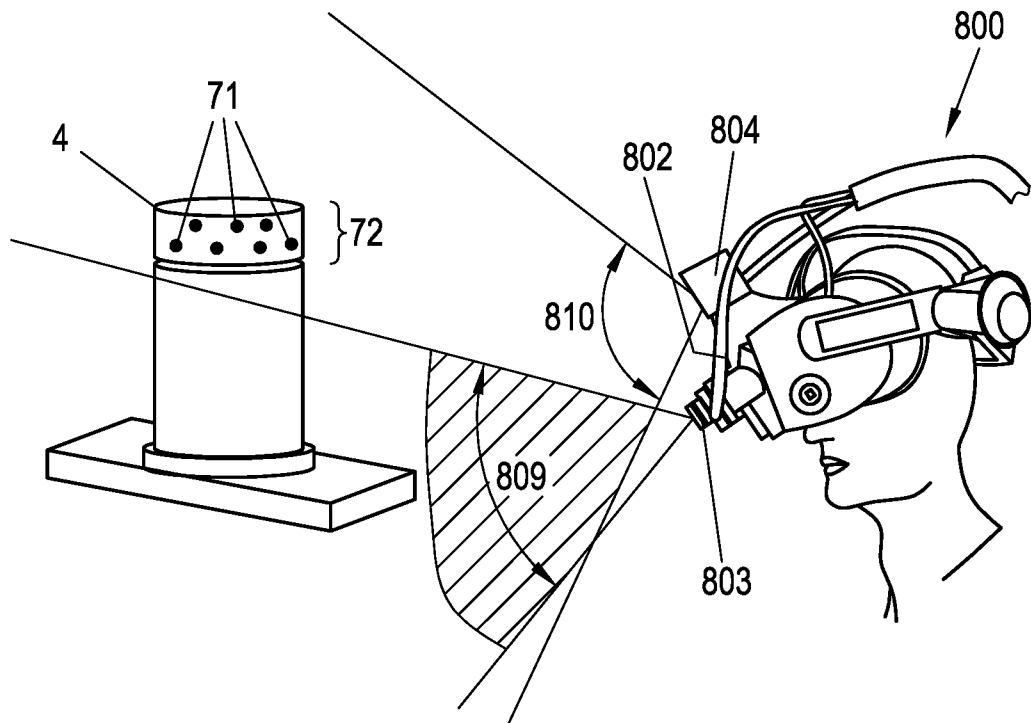


Fig. 6

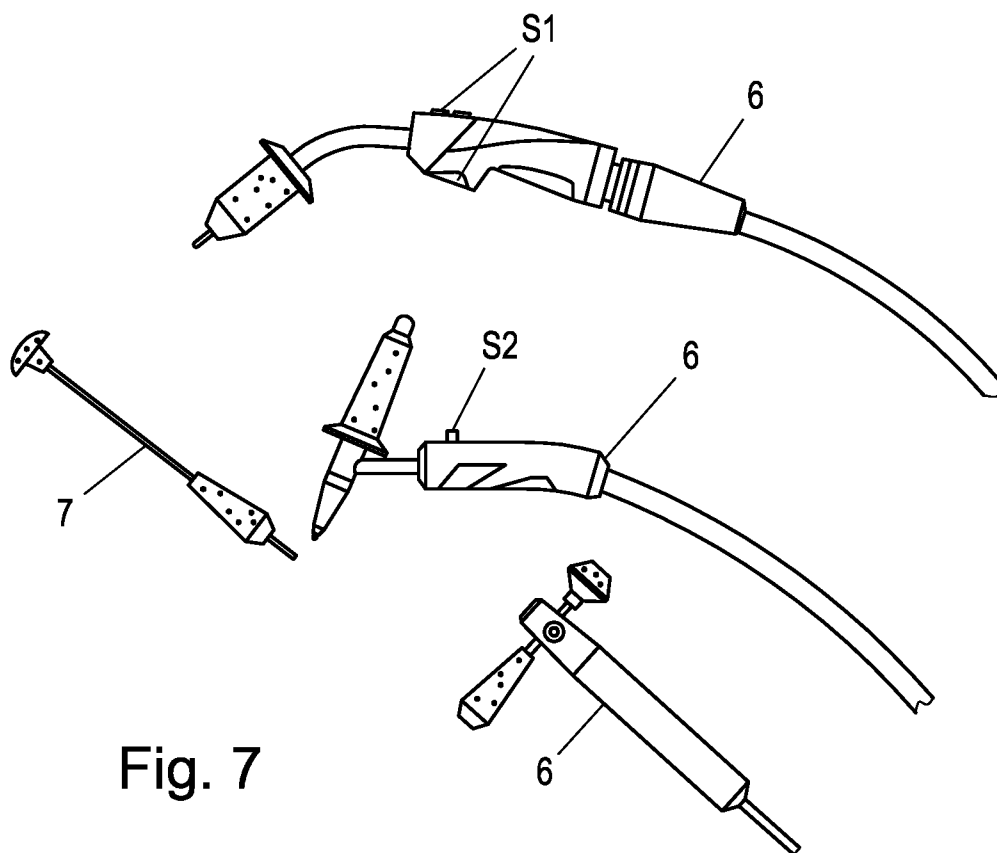
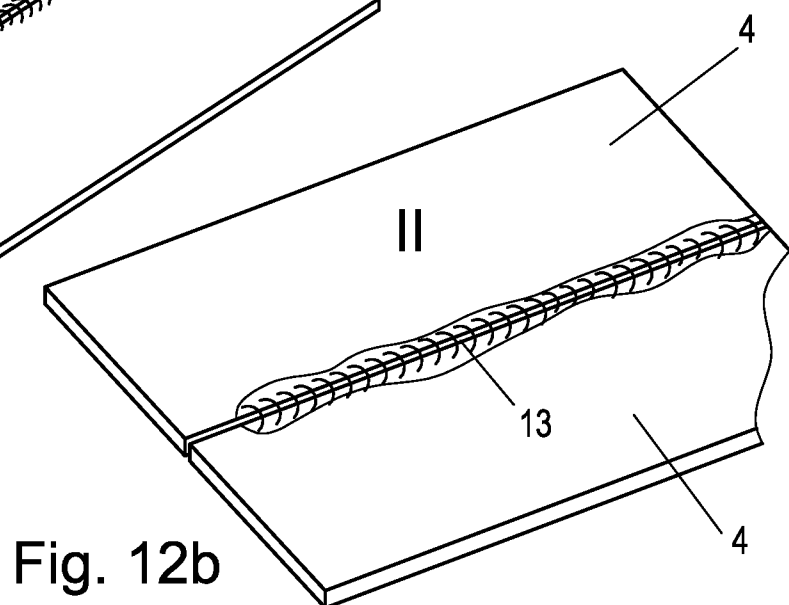
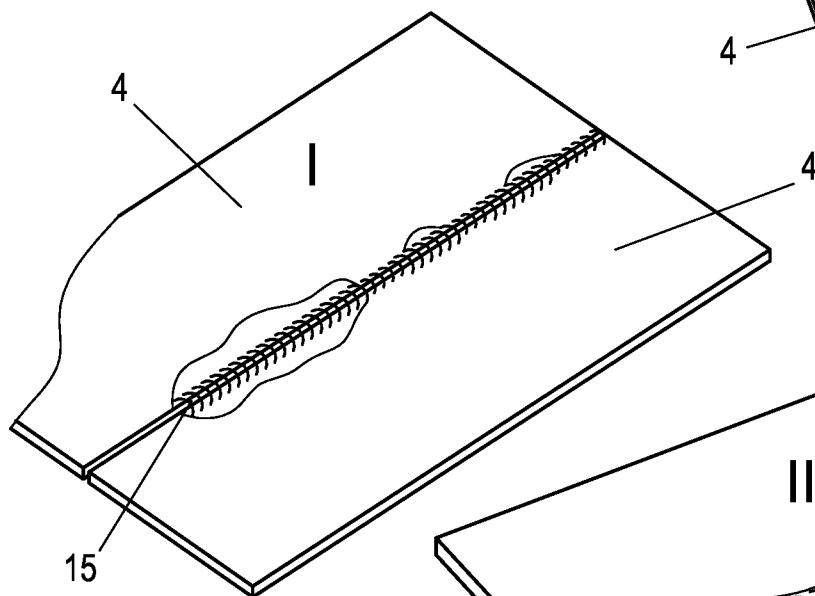
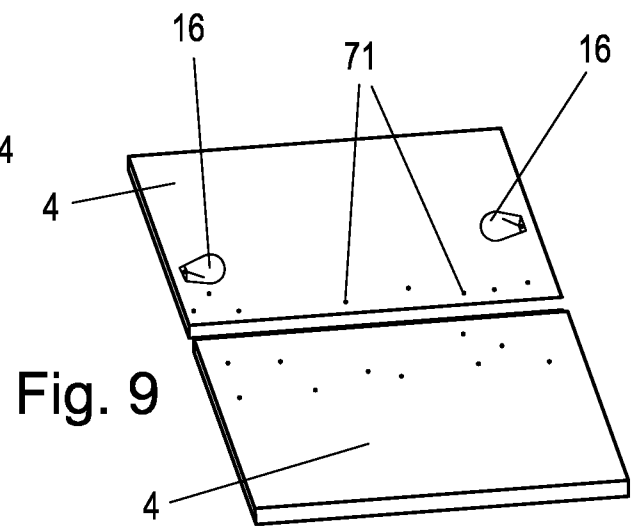
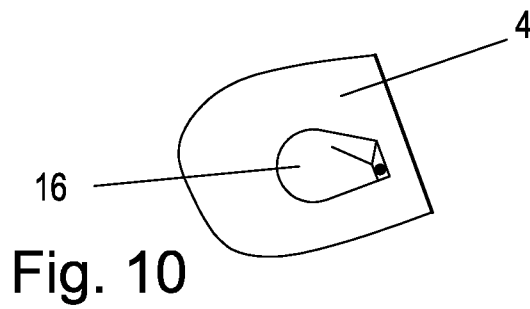
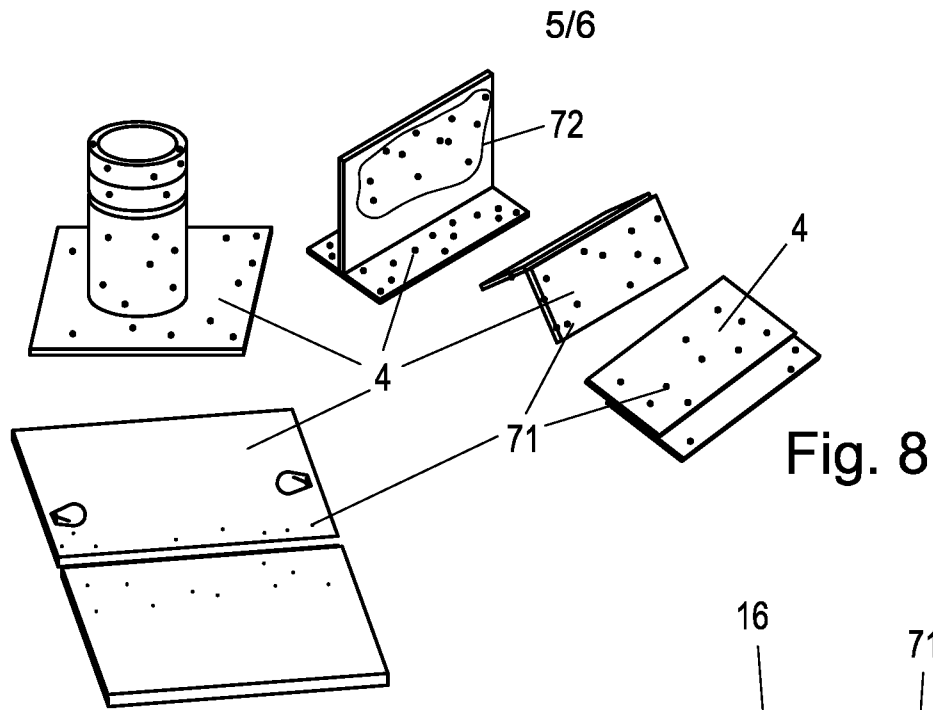


Fig. 7



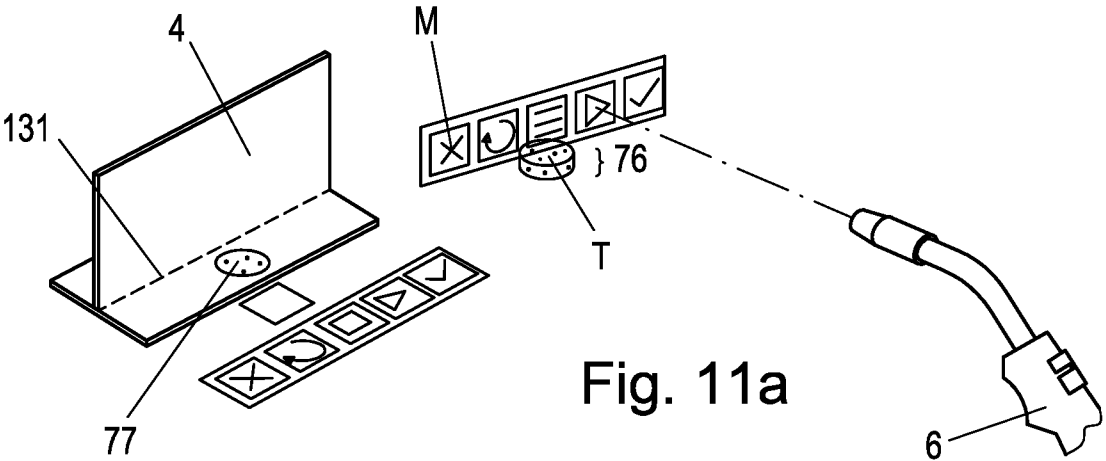


Fig. 11a

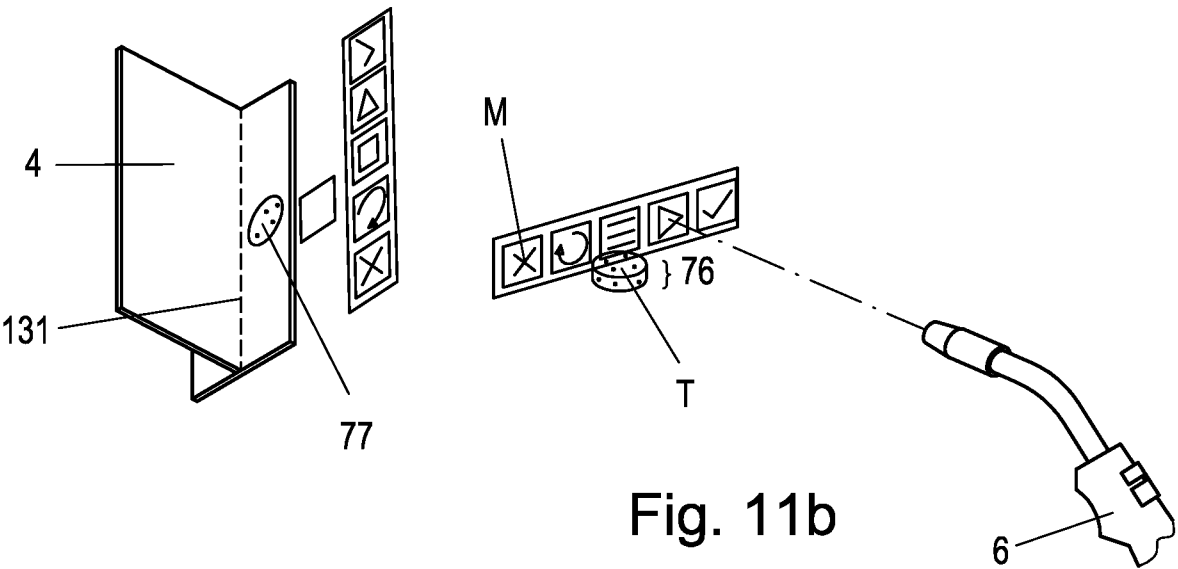


Fig. 11b

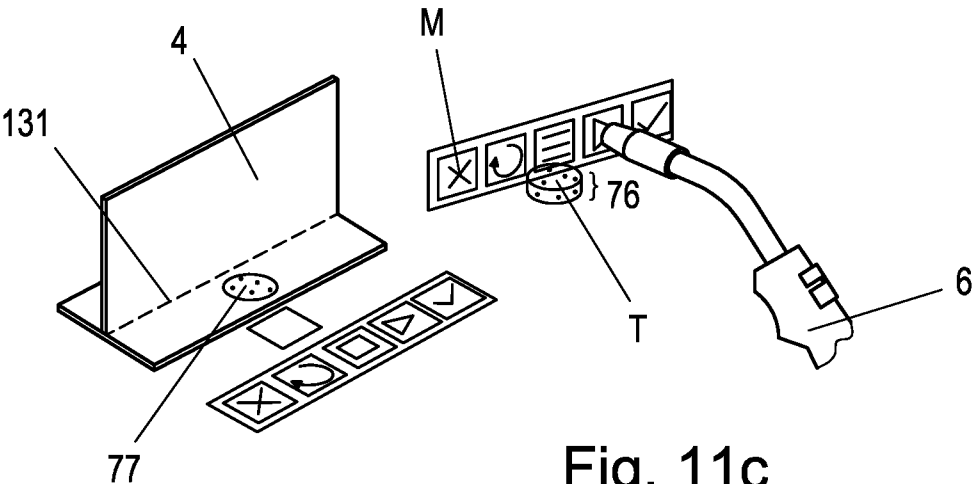


Fig. 11c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/065706

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G09B 19/24**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G09B; G09D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2020254572 A1 (BECKER WILLIAM JOSHUA [US] ET AL) 13 August 2020 (2020-08-13) paragraph [0036] - paragraph [0074]; figures 1.4A-4B	1,3-20
Y	CN 112454363 A (MAANSHAN UNIV) 09 March 2021 (2021-03-09) Claim 2	1,3-20
A	US 2018130377 A1 (MEESS BRIAN [US] ET AL) 10 May 2018 (2018-05-10) paragraph [0074]	2
A	WO 2020172309 A1 (SEABERY SOLUCIONES SL [ES]; ILLINOIS TOOL WORKS [US] ET AL.) 27 August 2020 (2020-08-27) paragraph [0053] - paragraph [0128]	1-20
A	US 2018130226 A1 (MEESS BRIAN [US] ET AL) 10 May 2018 (2018-05-10) paragraph [0066] - paragraph [0091]	1-20
A	WO 2016144744 A1 (ILLINOIS TOOL WORKS [US]) 15 September 2016 (2016-09-15) paragraph [0055] - paragraph [0169]	1-20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 September 2023

Date of mailing of the international search report

20 September 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Lavin Liermo, Jesus

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/065706

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 207937787 U (TAPUYIHAI SHANGHAI INTELLIGENT TECH CO LTD) 02 October 2018 (2018-10-02) paragraph [0005] - paragraph [0032]	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/065706

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2020254572	A1	13 August 2020	CA	3129903	A1	20 August 2020
				EP	3924131	A1	22 December 2021
				US	2020254572	A1	13 August 2020
				WO	2020167812	A1	20 August 2020

CN	112454363	A	09 March 2021	NONE			

US	2018130377	A1	10 May 2018	CN	108062898	A	22 May 2018
				EP	3318360	A1	09 May 2018
				JP	2018083230	A	31 May 2018
				US	2018130377	A1	10 May 2018

WO	2020172309	A1	27 August 2020	CA	3130748	A1	27 August 2020
				EP	3928303	A1	29 December 2021
				US	2020265750	A1	20 August 2020
				US	2023095900	A1	30 March 2023
				WO	2020172309	A1	27 August 2020

US	2018130226	A1	10 May 2018	CN	108057946	A	22 May 2018
				CN	108062900	A	22 May 2018
				EP	3323547	A1	23 May 2018
				EP	3335823	A1	20 June 2018
				ES	2825900	T3	17 May 2021
				JP	2018081093	A	24 May 2018
				JP	2018101124	A	28 June 2018
				US	2018130226	A1	10 May 2018

WO	2016144744	A1	15 September 2016	CN	107980153	A	01 May 2018
				EP	3268949	A1	17 January 2018
				US	2016267806	A1	15 September 2016
				US	2019362646	A1	28 November 2019
				US	2023222938	A1	13 July 2023

WO	2016144744	A1	15 September 2016				

CN	207937787	U	02 October 2018	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**INV. G09B19/24****ADD.**

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G09B G09D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2020/254572 A1 (BECKER WILLIAM JOSHUA [US] ET AL) 13. August 2020 (2020-08-13) Absatz [0036] – Absatz [0074]; Abbildungen 1, 4A-4B -----	1, 3-20
Y	CN 112 454 363 A (MAANSHAN UNIV) 9. März 2021 (2021-03-09) Anspruch 2 -----	1, 3-20
A	US 2018/130377 A1 (MEESS BRIAN [US] ET AL) 10. Mai 2018 (2018-05-10) Absatz [0074] -----	2
A	WO 2020/172309 A1 (SEABERY SOLUCIONES SL [ES]; ILLINOIS TOOL WORKS [US] ET AL.) 27. August 2020 (2020-08-27) Absatz [0053] – Absatz [0128] ----- --/--	1-20



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. September 2023

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/09/2023

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lavin Liermo, Jesus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2018/130226 A1 (MEESS BRIAN [US] ET AL) 10. Mai 2018 (2018-05-10) Absatz [0066] – Absatz [0091] -----	1-20
A	WO 2016/144744 A1 (ILLINOIS TOOL WORKS [US]) 15. September 2016 (2016-09-15) Absatz [0055] – Absatz [0169] -----	1-20
A	CN 207 937 787 U (TAPUYIHAI SHANGHAI INTELLIGENT TECH CO LTD) 2. Oktober 2018 (2018-10-02) Absatz [0005] – Absatz [0032] -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/065706

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2020254572 A1	13-08-2020	CA 3129903 A1	20-08-2020
		EP 3924131 A1	22-12-2021
		US 2020254572 A1	13-08-2020
		WO 2020167812 A1	20-08-2020

CN 112454363 A	09-03-2021	KEINE	

US 2018130377 A1	10-05-2018	CN 108062898 A	22-05-2018
		EP 3318360 A1	09-05-2018
		JP 2018083230 A	31-05-2018
		US 2018130377 A1	10-05-2018

WO 2020172309 A1	27-08-2020	CA 3130748 A1	27-08-2020
		EP 3928303 A1	29-12-2021
		US 2020265750 A1	20-08-2020
		US 2023095900 A1	30-03-2023
		WO 2020172309 A1	27-08-2020

US 2018130226 A1	10-05-2018	CN 108057946 A	22-05-2018
		CN 108062900 A	22-05-2018
		EP 3323547 A1	23-05-2018
		EP 3335823 A1	20-06-2018
		ES 2825900 T3	17-05-2021
		JP 2018081093 A	24-05-2018
		JP 2018101124 A	28-06-2018
		US 2018130226 A1	10-05-2018
		US 2018130376 A1	10-05-2018

WO 2016144744 A1	15-09-2016	CN 107980153 A	01-05-2018
		EP 3268949 A1	17-01-2018
		US 2016267806 A1	15-09-2016
		US 2019362646 A1	28-11-2019
		US 2023222938 A1	13-07-2023
		WO 2016144744 A1	15-09-2016

CN 207937787 U	02-10-2018	KEINE	
