(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 950 159 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.10.2026 Patentblatt 2026/41

(21) Anmeldenummer: **21190229.1**

(22) Anmeldetag: **06.08.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B08B 9/093 *(2006.01)* ***B05B 12/12*** *(2006.01)*
B05B 13/06 *(2006.01)* *B05B 3/04* *(2006.01)*
B05B 15/70 *(2018.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B05B 12/122; B08B 9/0936; B05B 3/0444; B05B 13/0636; B05B 15/70

(54) REINIGUNGSSYSTEM, COMPUTERPROGRAMM UND DATENTRÄGERSIGNAL

CLEANING SYSTEM, COMPUTER PROGRAM AND DATA CARRIER SIGNAL

SYSTÈME DE NETTOYAGE, PROGRAMME INFORMATIQUE ET SIGNAL DE SUPPORT DE DONNÉES

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

(30) Priorität: **07.08.2020 DE 102020120961**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.02.2022 Patentblatt 2022/06

(73) Patentinhaber:
- **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
  80686 München (DE)
- **Hohe Tanne GmbH**
  98701 Großbreitenbach (DE)

(72) Erfinder:
- **HESSE, Max**
  01067 Dresden (DE)
- **BOYE, André**
  01156 Dresden (DE)
- **WEYRAUCH, Thomas**
  98693 Ilmenau (DE)

(74) Vertreter: **Gottfried, Hans-Peter**
Patentanwalt
Messering 8f
01067 Dresden (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2020/139839
DE-B3- 102018 114 476
GB-A- 2 578 921
KR-A- 20160 026 211
US-A1- 2016 008 859

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 950 159 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Reinigungssystem, umfassend einen Zielstrahlreiniger, der seinerseits wenigstens eine Düse zur Abgabe von Reinigungsmittel in Form wenigstens eines Strahls umfasst, wobei die Düse an einem Rotationskopf angeordnet und dort mit einer Manipulationseinrichtung verbunden ist, die die Düse so bewegen kann, dass der Strahl in alle Richtungen gelenkt wird, wobei weiterhin der Rotationskopf an einem ersten Ende eines Teleskoparms angeordnet ist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm und ein Datenträgersignal.

[0002] Zur Schaffung reproduzierbarer und validierbarer Reinigungsprozesse kommen Cleaning-In-Place (CIP)-Systeme zur automatisierten Reinigung zum Einsatz. Allerdings ist die automatisierte Reinigung technisch hochkomplexer Anlagen eine große Herausforderung. Häufig ist ein Großteil der Anlagen nur schwer bzw. gar nicht einsehbar und es fehlt die Möglichkeit zur automatischen Kontrolle des Reinigungserfolgs. Es existieren lediglich Sensoren zur indirekten Überwachung des Reinigungserfolgs oder Verschmutzungszustands anhand der Schmutzlast im Reinigungsmittel, z. B. durch Trübungssensoren.

[0003] Auch die aktuell markterhältlichen Tankreinigungstechnologien verhindern eine flexible Berücksichtigung produktspezifischer Reinigungsbedürfnisse, da sie ein fest vordefiniertes Spritzmuster besitzen. Infolge fehlender Sensorik und flexibler Reinigungssysteme erfolgt derzeit die automatisierte Reinigung von Maschinen und Anlagen unabhängig vom lokalen Verschmutzungsgrad. Daher werden diese Systeme am Worst-Case-Szenario (bspw. lokale Antrocknungen am Füllstandskranz) mit weiteren Sicherheitszuschlägen ausgelegt und sind in der Regel deutlich überdimensioniert. In der Folge gehen große Mengen an Trinkwasser, Reinigungschemie, Energie und Produktionszeit verloren.

[0004] Es fehlen in der Regel Sensoren zur Erfassung lokaler Verschmutzungen und adaptive Reinigungssysteme. Untersuchungen an Mehrfachlagertanks zeigten, dass der Großteil der Tanks bereits nach 10-40 % der Reinigungszeit als sauber gilt. Demnach werden ca. 60-90 % der Reinigungszeit zur nicht bedarfsgerechten und somit ineffizienten Beseitigung lokaler Restverschmutzungen (bspw. Antrocknungen und Anschlussstutzen) aufgewendet. Der durchschnittlich hohe Anteil an Reinigungszeit (15-20 % der Produktionszeit) in Verbindung mit den branchenüblichen geringen Margen von 1-2 % führt bei einer Optimierung des Reinigungsprozesses zu einem signifikant ökonomischen und ökologischen Vorteil.

[0005] Aus der Druckschrift DE 10 2018 114 476 A1 ist ein Reinigungssystem bekannt, das einen Versorgungsroboter und Reinigungssatelliten umfasst sowie weiterhin ein Verfahren zur Reinigung. Das Reinigungssystem für Oberflächen ist ausgebildet zum selbsttätigen und autonomen Betrieb, wobei zwischen dem Versorgungsroboter und dem Reinigungssatelliten eine steuerungstechnische Verknüpfung zum kooperierenden Betrieb besteht. Der Versorgungsroboter kann einen Hilfsstoff zur kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Abgabe aus einem Hilfsstoffvorratstank an den Reinigungssatelliten vorhalten. Der Versorgungsroboter kann selbstständig den Hilfsstoff und Energie aus einer Servicestation entnehmen und zum Ort der Reinigungsaufgabe auf der Oberfläche und zur Übertragung des Hilfsstoffs an den Reinigungssatelliten zurückkehren. Weiterhin ist eine Feststellung von vorhandenen Verschmutzungen möglich, wenn eine Verschmutzungssensoreinrichtung, die mehrere Verschmutzungssensoren umfassen kann, zur Verwendung mit dem Versorgungsroboter oder dem Reinigungssatelliten vorgesehen ist. Der Versorgungsroboter oder der Reinigungssatellit kann die Oberflächen zumindest an Problempunkten, wie z. B. auf Anlagen und Rohrleitungen, unter Anlagen und in anderen schlecht zugänglichen Bereichen, auf die Verschmutzung hin untersuchen und insbesondere die Art der Verschmutzung (z. B. Fett- oder Stärkerückstände), deren Zustand (z. B. eingetrocknet, verdorben), die Menge bzw. Dicke der Schmutzschicht und deren sonstige Eigenschaften ermittelt werden.

[0006] Die Druckschrift DE 10 2018 114 476 B3 beschreibt ein Reinigungssystem, bei dem ein Versorgungsroboter vorgesehen ist, mit dessen Hilfe andere Bestandteile des Systems mit Reinigungsflüssigkeit versorgt werden. Ein solches Erfordernis besteht bei einem stationären Zielstrahlreiniger nicht, der ohnehin mit einer Versorgungsleitung dauerhaft verbunden ist und dadurch die Reinigungsflüssigkeit zugeführt bekommt. Insbesondere wird eine Reinigungsdrohne vorgeschlagen, die sich unmittelbar und aus beliebiger Richtung an die Verschmutzung annähern kann. Darüber hinaus wird mit Positionsdaten gearbeitet sowie mit einem Verschmutzungszustand. Eine Regelungseinrichtung ist jedoch nicht vorgesehen, darüber hinaus ist kein Computerprogramm vorgesehen, das in einer Regelungseinrichtung ausgeführt werden könnte.

[0007] Das Dokument WO 2020/139839 A1 beschreibt ein programmierbares Tankreinigungssystem, das hydraulisch gesteuert wird und über eine Düse verfügt, die eine oder mehrere Freiheitsgrade für die Bewegung hat. Dieses System kann als eigenständige Einheit betrieben werden und ist für die Reinigung von Tanks konzipiert, die gefährliche Flüssigkeiten oder Abfälle enthalten, wie z. B. Öl, Chemikalien oder radioaktives Material. Es bietet eine sichere und effiziente Methode zur Auflösung und Beseitigung von Ablagerungen in Tanks, die sonst schwer zugänglich sind, und nutzt dabei Flüssigkeitsstrahlen, die mit hohen Drücken arbeiten. Das System ist für den Einsatz in explosionsgefährdeten Umgebungen geeignet. Das beschriebene Tankreinigungssystem verwendet eine programmierbare, hydraulisch gesteuerte Düse, die von einem Bediener über eine Steuerstation manuell kontrolliert wird. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) ermöglicht es dem Bediener,

die Bewegungen der Düse in Echtzeit zu steuern, Reinigungspfade festzulegen und Parameter wie Druck und Flussrate anzupassen. Es erfolgt keine autonome oder automatische Steuerung; alle Bewegungen und Reinigungsprozesse werden direkt vom Bediener überwacht und manuell gesteuert. Somit wird ein Reinigungssystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 offenbart.

[0008] Weitere Reinigungssysteme sind aus den Druckschriften KR 101467341 B1 und US 2010 0 050 366 A1 bekannt und beschreiben einen Versorgungsroboter mit Satelliten bzw. ein autonomes Staubsaugersystem. Steuerbare Strahlreiniger mit drehbarem Rotationsrohr und in einer Schwenkeinrichtung angeordneter Strahleinrichtung ist aus den Druckschriften DE 10 2017 115 837 A1 und EP 3 517 226 A3 bekannt.

[0009] Diese sowie andere bekannte automatisierte Reinigungssysteme berücksichtigen jedoch keine unterschiedlichen Verschmutzungszustände in Prozessanlagen oder können diese in nur unzureichender Weise analysieren. Aufgrund ungeeigneter Steuerungssysteme sowie bisher nicht verfügbarer Sensor- und Aktortechnologien wird deshalb mit viel zu hohem Ressourcenaufwand (Zeit, Energie, Reinigungsmittel) anhand von Worst-Case-Szenarien gereinigt. Trotz dieser systematischen Überdimensionierung kommt es, wegen kritischer Stellen oder bei Unregelmäßigkeiten in der vorangegangenen Produktion, immer wieder zu schwerwiegenden Lebensmittelkontaminationen. Ferner erfolgt die Reinigungskontrolle nur stichprobenartig und bei geschlossenen Systemen wie Tanks sogar nur indirekt.

[0010] Untersuchungen haben gezeigt, dass sich in milchverarbeitenden Betrieben die Reinigungszeiten durch geeigneten Abbruch der Reinigung bei Zustand "sauber" durchschnittlich um > 50 % und bei intelligenter Parametrierung der Reinigungsbahnen um dann nochmal bis zu 50 % reduzieren lassen. Das sind Einsparungen von durchschnittlich 75 % an Reinigungszeit, die realistisch in Aussicht gestellt werden. Einfache regelbasierte Steuerungen sind auf Grund der großen Vielfalt in Art und Zustand von Verschmutzungen (Zusammensetzung, Feuchtigkeit, Antrocknung usw.) und möglichen Reinigungsparametern (Druck, Temperatur, chem. Zusammensetzung Reinigungsmittel, Bahnprofil usw.) nicht zielführend.

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein intelligentes Reinigungssystem inklusive zugehöriger Hard- und Softwarekomponenten anzubieten. Das Reinigungssystem soll vollkommen autonom auf stark variierende Verschmutzungszustände reagieren.

[0012] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Reinigungssystem gemäß Anspruch 1, umfassend einen Zielstrahlreiniger, der seinerseits wenigstens eine Düse zur Abgabe von Reinigungsmittel in Form wenigstens eines Strahls umfasst. Die Düse ist an einem Rotationskopf angeordnet und mit einer Manipulationseinrichtung verbunden, die die Düse so bewegen kann, dass der Strahl in alle Richtungen gelenkt wird. Der Rotationskopf ist an einem ersten Ende eines Teleskoparms angeordnet. Der Teleskoparm ragt bei der Verwendung des erfindungsgemäßen Reinigungssystems mit dem ersten Ende in den zu reinigenden Bereich, z. B. einen Tank hinein. Der Teleskoparm kann starr, mit unveränderlicher Länge, als verschiebbare Lanze oder mehrteilig ausgeführt sein. Verschiedene Ausführungsformen werden unten näher erläutert. Jedenfalls überbrückt der Teleskoparm die Distanz zwischen seinem ersten Ende, wo der Rotationskopf sitzt, und seinem zweiten Ende, in das die notwendigen Betriebsmittel wie das Reinigungsmittel, aber auch Energie für den Betrieb des Rotationskopfs und Steuersignale für dessen Ansteuerung eingespeist und Sensorsignale, wie nachfolgend näher ausgeführt, abgegriffen werden. Die Distanz zwischen dem ersten Ende, das im Betrieb regelmäßig in den zu reinigenden Raum eintaucht, und dem zweiten Ende außerhalb dieses Raums wird durch den Teleskoparm überbrückt.

[0013] Nach der Erfindung umfasst das Reinigungssystem zumindest eine Regelungseinrichtung zur zustandsbasierten Regelung des Reinigungsprozesses und wenigstens eine Sensoreinrichtung, wobei die Sensoreinrichtung einen Verschmutzungssensor und eine Lichtquelle umfasst. Der Verschmutzungssensor, insbesondere als optischer Sensor, beispielsweise eine Kamera, ausgeführt, sucht die Umgebung nach verschmutzten Bereichen ab.

[0014] Bevorzugt beruht die Funktion dieses optischen Sensors auf einem Lumineszenzeffekt. Dabei wird beispielsweise ein Lichtspektrum ausgesandt, das bei der erwartbaren Verschmutzung (z. B. Bakterienbelag) einen einfach detektierbaren Lumineszenzeffekt hervorruft. Alternativ dazu ist es auch möglich, ein Mittel auf die zu prüfende Oberfläche aufzutragen, das bei der vorgesehenen Beleuchtung in Zusammenwirken mit der zu entfernenden Verschmutzung einen Lumineszenzeffekt hervorruft. Als vorteilhaft hat sich auch die Verarbeitung von Aufnahmen bei unterschiedlichen Lichtspektren erwiesen. Auf diese Weise können bedarfsgerecht nur die Bereiche gereinigt werden, welche auch verschmutzt sind. Zudem kann der Reinigungsverlauf überwacht und der Reinigungserfolg kontrolliert werden.

[0015] Besonders günstig ist es deshalb, wenn die Einrichtung zur Erkennung von Anhaftungen als ein optischer Detektor unter Nutzung eines Lumineszenzeffekts der Anhaftung durch von der Reinigungsvorrichtung oder in dem Anwendungsraum emittierte Lichtstrahlung ausgeführt ist. Die Wellenlänge kann beispielsweise außerhalb des sichtbaren Spektrums liegen und zumindest teilweise das UV- oder das IR-Spektrum umfassen.

[0016] Die Einrichtung zur Erkennung von Anhaftungen ist bei einer alternativen Ausführungsform in der Weise ausgestaltet, dass NIR- oder MIR-Spektroskopie im Reflexionsverfahren ausführbar ist.

[0017] Bei jeder der Ausführungsformen ist die durch die Beleuchtungseinrichtung emittierte Wellenlänge mit der Art der Anhaftung insoweit abgestimmt, dass ein Lumineszenzeffekt der Anhaftung genutzt wird. Beispielsweise können bestimmte bakterielle Beläge unter

UV-Licht einen Lumineszenzeffekt aufweisen und sind dadurch mit einem von der Erfindung vorgesehenen optischen Detektor gut erkennbar. Vor allem ist das gewonnene Bild gut auswertbar und das Ergebnis kann in einen Steuerungsablauf einfließen.

[0018] Die Sensoreinrichtung ist mit der Regelungseinrichtung zur Übertragung von Sensordaten verbunden. In der Regelungseinrichtung laufen während des Reinigungsbetriebes ein oder mehrere Computerprogramme ab, insbesondere zwei Computerprogramme, eines, das den Reinigungsprozess steuert, und ein weiteres, das bestärkendes Lernen als eine Form des maschinellen Lernens im Interesse der weiteren Optimierung des Reinigungsprozesses durchführt. Hierzu weist die Regelungseinrichtung ausreichend leistungsstarke Computerkomponenten, zumindest einen Prozessor und einen Arbeitsspeicher, auf.

[0019] Das oder die in der Regelungseinrichtung ablaufenden Computerprogramme, vor allem aber Maschinelles Lernen zur Optimierung des Reinigungsprozesses, wie unten näher beschrieben, können auch extern auf einen separaten Server ausgelagert werden, der die nötige bzw. eine höhere Rechenkapazität besitzt. In dem Fall muss die Regelungseinrichtung nur einfache Steuerungsaufgaben übernehmen und sammelt Daten des Verschmutzungssensors, um diese an den Server zu schicken. Gemäß der vorliegenden wird auch die Ausführung auf dem separaten Server als Ausführung in der Regelungseinrichtung angesehen.

[0020] Die Erfindung schlägt somit ein Reinigungssystem vor, welches in der Lage ist, Tankreinigungen situationsbezogen und somit bedarfsgerecht durchzuführen. Wesentlicher Bestandteil des Systems ist ein frei parametrierbarer und, jedenfalls beim bevorzugten Einführen in einen Tank von der Oberseite, vertikal verfahrbarer Zielstrahlreiniger in Kombination mit einer integrierten Sensoreinrichtung, nachfolgend auch Verschmutzungssensorik genannt, sowie einer selbstlernenden Software, die im computerimplementierten Aspekt der Erfindung näher erläutert wird.

[0021] Das Reinigungssystem umfasst einen Zielstrahlreiniger, der durch zwei voneinander unabhängig ansteuerbare Antriebsachsen in der Lage ist, jeden einzelnen Punkt im Tank individuell anzufahren und somit beliebige Reinigungsbahnen zu realisieren. Der Zielstrahlreiniger ist kombiniert mit einer integrierten Sensoreinheit zur Schmutzerkennung. Die Antriebstechnologie des Zielstrahlreinigers (auch als Adaptive Jet Cleaner bezeichnet) bildet die Basis für das erfindungsgemäße Reinigungssystem. Darüber hinaus ist das erfindungsgemäße System in der Lage, im Tank (insbesondere vertikal) frei zu verfahren und mittels des zu integrierenden Beleuchtungs- und Kamerasystems Verschmutzungen zu erkennen und diese gezielt zu reinigen. Es ist auch vorgesehen, den Zielstrahlreiniger durch eine seitliche Öffnung in den Tank einzuführen, wobei dann keine vertikale, sondern eine horizontale oder anders gerichtete Verfahrbarkeit vorliegt.

[0022] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Teleskoparms ist diese als eine lange, ungeteilte Sprühlanze ausgeführt, die durch eine äußere Gleitführung, ein darin laufendes gleitfähiges Gestellt, das mit dem Teleskoparm verbunden ist, und die Antriebseinrichtung im Tank hinab bzw. hinauf gefahren werden kann.

[0023] Die wenigstens eine Sensoreinrichtung ist nach einer ersten Ausführungsform in einem beweglichen Sensorarm angeordnet. Alternativ oder zusätzlich ist die wenigstens eine Sensoreinrichtung nach einer zweiten Ausführungsform in dem Rotationskopf angeordnet, wobei der Rotationskopf ein zumindest teilweise (zumindest für das gewählte Strahlungsspektrum) transparentes und/oder durchsichtiges Gehäuse aufweist. oder/und wobei die wenigstens eine Sensoreinrichtung in dem Teleskoparm, beabstandet von dem Rotationskopf, angeordnet ist. Darüber hinaus können die Komponenten der Sensoreinrichtung, Verschmutzungssensor und Lichtquelle, analog der vorgenannten Ausführungsformen unterschiedlich positioniert werden.

[0024] Besonders vorteilhaft ist eine Lichtquelle und/oder ein Verschmutzungssensor, die eine aktive und/oder eine passive Kühleinrichtung umfassen. Dann erfordern die im Rotationskopf eingebauten Elemente (z. B. Kamera, Lichtquelle) nur einen minimierten Bauraum. Es wird weiterhin erreicht, dass sie ein geringes Gewicht aufweisen und zudem gegen die aggressiven Umgebungsbedingungen in einem zu reinigenden Tank geschützt sind. Vorteilhafterweise wird eine Beständigkeit gegen Temperaturen > 120 °C sowie gegen Reinigungsmittel erreicht.

[0025] Des Weiteren muss die Verschmutzungssensorik integriert sowie deren elektronische Versorgung bzw. Anbindung gewährleistet werden. Da die Verschmutzungssensorik, ausgeführt als die Sensoreinrichtung, bevorzugt eine Kamera, im unteren Teil des Reinigers integriert ist, müssen deren komplette Leistungs- und Signalleitungen sicher durch das System geführt werden. Vertikale Bewegungen ausgehend von der z-Achse gilt es dabei auch hier zu kompensieren, soweit nicht die ungeteilte Sprühlanze Anwendung findet. Die Sensoreinrichtung ist im oder am Rotationskopf angeordnet. Sie ist bevorzugt in einem Düsenarm untergebracht, wodurch sie bedarfsgerecht ausgerichtet werden kann.

[0026] Dabei kommen auch innovative Sensorikkomponenten zur Anwendung, wobei wegen deren Miniaturisierung besondere Schwierigkeiten zu überwinden waren. Dazu gehören die Wärmeabfuhr der Komponenten durch geringe Oberfläche des Gehäuses, eine ausreichend hohe Beleuchtungsintensität der UV-Beleuchtung, um eine schnelle Detektierung von Verschmutzungen zu ermöglichen und eine hohe Lichtempfindlichkeit des Kamerasensors bei kleiner Baugröße. Die vorgesehene Baugröße beträgt nach einer bevorzugten Ausführungsform etwa 175 cm^3, insbesondere ein Quader der Größe 100 x 50 x 35 mm.

[0027] Komponenten in einem Gehäuse benötigen ein Vielfaches mehr an Platz, unter anderem wegen notwendiger Kühlung, bei einer herkömmlichen Temperaturbeständigkeit bis zu 85°C. Demgegenüber sieht die Erfindung eine Beständigkeit gegen Temperaturen > 120 °C sowie gegen Reinigungsmittel vor. Dies wird insbesondere erreicht durch eine aktive Kühlung mittels eines Fluids (Wasser oder Luft). Weiterhin ist eine Unterstützung der Kühlung durch ein Peltier-Element oder eine Heatpipe vorgesehen. Durch die Maßnahmen wird erreicht, dass auch bei erhöhter zulässiger Betriebstemperatur der verbauten Komponenten diese eine längere Lebensdauer erreichen bzw. bei noch höherer Umgebungstemperatur betrieben werden können.

[0028] Das erfindungsgemäße Reinigungssystem umfasst damit ein innovatives Beleuchtungssystem, welches den Anforderungen an Kompaktheit und Wärmeresistenz bei gleichzeitig sehr hoher Leuchtstärke gerecht wird. Dies wird bevorzugt erreicht durch Einsatz einer einzelnen LED, insbesondere einer High-Power-LED, anstatt vieler kleinerer LEDs, verteilt auf größerer Fläche. Es hat sich gezeigt, dass dies zugleich eine aktive Kühlung der Beleuchtung erfordert. Hierfür war unter anderem die Entwicklung einer geeigneten passiven oder auch aktiven Kühlstrategie als hochintegrierbare Lösung notwendig. Es haben sich dabei mehrere verschiedene Kühlstrategien für Luft- und Wasserkühlung als geeignet erwiesen:

- Luftkühlung: Die Luft, auch Druckluft ist möglich, wird über einen Kühlkörper, der mit der Beleuchtung und der Kamera verbunden ist, geleitet. Die Luft kann entweder über den Schaft des Zielstrahlreinigers zurück oder direkt in den Tank geleitet werden.
- Wasserkühlung als geschlossener Kreislauf oder offener Kreislauf, bei dem das Wasser wird in den Tank geleitet wird. Das Wasser kann entweder über einen Schlauch im Kreislauf oder direkt in den Tank geleitet werden. Das Wasser wird dabei ebenfalls über einen Kühlkörper geleitet.

[0029] Zusätzlich zu den konstruktiven Maßnahmen werden bevorzugt auch schalttechnisch geeignete Strategien für z. B. Puls-Pause-Betrieb vorgesehen, welche über eine qualifizierte Schnittstelle in die intelligente Prozesssteuerung eingebunden werden.

[0030] Weiterhin ist die bevorzugte Lichtquelle als eine umschaltbare Hybrid-Lösung ausgeführt, die die Abgabe unterschiedlicher Lichtspektren ermöglicht. Dabei umfasst die besonders bevorzugte Lichtquelle wenigstens eine LED bzw. High-Power LED. Die Lichtquelle ist zumindest für UV-Licht (bevorzugt ≈ 365nm), Tageslicht oder Weißlicht umschaltbar ist. Es sind auch andere Lichtfarben vorgesehen, wenn sie einen hohen Kontrast zum Untergrund bzw. zu der erwarteten Verschmutzung bieten. Der Farbton des Kamerabilds bietet einen Rückschluss auf die Art der Verschmutzung und soll in möglichst hohem Kontrast zur Umgebung erkennbar sein. Alternativ oder zusätzlich zum Kontrast ist es auch vorgesehen, die die Oberfläche, die Umgebung und/oder die Verunreinigung zur Strahlung anregen (Lumineszenz). Dabei soll im Rahmen der angestrebten Kompaktheit nach einer ersten Ausführungsform eine Ein-Chip-LED zum Einsatz kommen.

[0031] Soweit vor der UV-Beleuchtung ein UV-Bandpass-Filter verwendet wird, der kein Weißlicht passieren lässt, werden nach einer zweiten Ausführungsform eine UV-LED und eine gesonderte Weißlicht-LED verbaut. Die Hybridfunktion mit UV- und Weißlicht sorgt in beiden Fällen für eine ideale Kombination zur Geometrie- und Verschmutzungserkennung.

[0032] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die abstandsabhängige Brennweite der Beleuchtung, ausgeführt in besonders kompakter Weise. So ist der Einsatz einer optischen Komponente, bevorzugt eines kompakten Zoomobjektivs vorgesehen. Diese ermöglicht in kleinem Bauraum eine automatische Verstellung der Brennweite. Durch elektrische Signale können Brennweite und Fokussierung eingestellt werden.

[0033] Dies ist insbesondere notwendig, wenn der Zielstrahlreiniger bei jeder Winkeländerung einen sich verändernden Abstand zur beobachteten Fläche für das Sensorsystem erzeugt. Für die Beleuchtung besteht hier vor allem die Herausforderung der Realisierung des optimalen Ausleuchtungsdurchmessers. Zu Beginn der Reinigung, bei hohem Verschmutzungsgrad, ist die Verschmutzung leicht zu detektieren. Hier kann ein großer Bereich mit geringer Lichtleistung pro Fläche ausgeleuchtet bzw. beobachtet werden. Gegen Ende der Reinigung hingegen, wenn optische Detektionsgrenzen durch Abnahme der Schichtdicke eine immer größere Rolle spielen, muss für eine ausreichend hohe Erkennungsgüte tendenziell eher punktuell, auf kleiner Fläche beleuchtet bzw. angeregt werden.

[0034] Die bevorzugte Lichtquelle umfasst daher eine Lichtsteuerungseinrichtung, die mittels steuerbarer optischer Komponenten, insbesondere einer Optik mit veränderbarer Brennweite (Zoom), die steuerbar ist, z. B. als Motorzoom ausgeführt, einen veränderlichen optimalen Ausleuchtungsdurchmesser ermöglicht. Zu Beginn der Reinigung, bei hohem Verschmutzungsgrad, wenn die Verschmutzung noch leicht zu detektieren ist, wird durch eine kleinere Brennweite ein großer Bereich mit entsprechend geringer Lichtleistung pro Fläche ausgeleuchtet. Demgegenüber wird gegen Ende der Reinigung durch eine größere Brennweite mit starker Fokussierung auf kleiner Fläche ausgeleuchtet. Vorteilhafterweise ist die Lichtsteuerungseinrichtung mit der Regelungseinrichtung verknüpft oder in diese integriert. Alternativ zu dem vorstehend beschriebenen Verfahren werden geringe Detektionsgrenzen durch eine erhöhte Belichtungszeit ausgeglichen.

[0035] Der Verschmutzungssensor ist vorzugsweise als eine Kameraeinrichtung ausgeführt, die steuerbare Komponenten aufweist und robust an einer Mehrachsen-Mechanik betrieben werden kann. Die besonders vor-

teilhaften steuerbaren optischen Komponenten sind als Zoomobjektiv oder Autofokus-Zoomobjektiv, bevorzugt ein Objektiv mit frei einstellbarem Fokus, umfassend *Liquid Lenses,* ausgeführt. Dies gilt gleichermaßen für die Fokussierung der Beleuchtung, wobei aber *Liquid Lenses* nicht eingesetzt werden. Das Kamerabild wird in einer Auswerteeinrichtung zu einem digitalen Abbild des Verschmutzungszustands umgewandelt. Die Auswerteeinrichtung kann auch in die Regelungseinrichtung integriert sein. Die Steuerung der optischen Komponente bzw. des Zoomobjektivs kann auch von der Steuerungseinrichtung übernommen werden, die situationsbedingt entscheidet, welcher Bereich durch die Kamera erfasst und ausgewertet werden soll. Kriterien für diese Entscheidung können im Reinigungsprozess selbst liegen, in dem gemäß vorstehend beschriebenem Verfahren beleuchteten Bereich, aber auch im Bereich der rechentechnischen Verarbeitungskapazität für die anfallenden Daten. Diese Faktoren werden sowohl bei der Steuerung des Reinigungsprozesses, als auch beim Maschinellen Lernen einbezogen.

[0036] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn bei der Sensoreinrichtung eine Einrichtung zur Entfernung von Anhaftungen und/oder Kondensat vorgesehen ist, die die Öffnungen der Lichtquelle und/oder des Verschmutzungssensors reinigt.

[0037] Um eine grobe Positionierung des Zielstrahlreinigers in dem zu reinigenden Bereich, z. B. einem Tank, zu erreichen, ändert der Teleskoparm seine in den Innenraum des, Tanks ragende Länge und positioniert damit speziell den Rotationskopf.

[0038] Ein weiterer vorteilhafter Aspekt der Erfindung betrifft die komplett gekapselte Fluidführung, d. h. das Reinigungsfluid strömt nicht durch mechanische Getriebeteile und kommt nicht mit elektronischen Bauteilen in Berührung. Weiterhin werden die Verfahrbewegungen der z-Achse kompensiert, beispielsweise durch eine teleskopartige Verrohrung oder flexible Verschlauchung, soweit keine ungeteilte Sprühlanze Anwendung findet. Es ist eine Reinigungsmittelleitung vorgesehen ist, die das Reinigungsmittel der Düse zuführt, ohne mit beweglichen Teilen des Rotationskopfs in Berührung zu kommen, sodass ein Mehrkanalsystem ausgebildet wird. Ebenso werden ein Versorgungskabel, eine Steuerleitung und/oder ein Kühlmittelkanal durch den Innenraum von Teleskoparm und Rotationskopf geführt.

[0039] Weiterhin umfasst die Erfindung eine Reinigungssteuerungseinrichtung, die Software-Module aufweist bzw. zur Ausführung speichert, zur Bildauswertung der vom optischen Verschmutzungssensor gelieferten Bilder ausgeführt bzw. programmiert sind. Der optische Verschmutzungssensor besteht aus Kamera und Beleuchtung. Die Auswertung betrifft maßgeblich die Algorithmen zur Verschmutzungs-, Geometrie- bzw. Objekterkennung und deren gegenseitige Zuordnung. Diese sind als Informationslieferanten für die selbstlernende Steuerung notwendig. Das System wird im Zuge der Auswertung detektieren, an welcher Stelle im zu reinigenden Tank wie viel Verschmutzung vorliegt und ortsaufgelöst effiziente Parametersätze für die Reinigung wählen.

[0040] Die Geometrie- bzw. Objekterkennung unterstützt die Einbringung von Expertenwissen. So kann das System z. B. bei Erkennung eines Prozessstutzens oder anderer Einbauten selbstständig vorschlagen, diese Geometrie mit einer effizienten Spiralbahn zu reinigen.

[0041] Eine weitere effektive Alternative für einzelne kritische Bereiche sind Mäander-Bahnen, welche auch aktuell schon von Hand in den Reiniger programmiert werden können.

[0042] Für die Realisierung des cyber-physischen Systems, also eines Systems, bei dem informations- und softwaretechnische mit mechanischen Komponenten verbunden sind, wobei Datentransfer und -austausch sowie Kontrolle bzw. Steuerung über eine Infrastruktur in Echtzeit erfolgen, sind eine Reihe von Schnittstellen zur Datenanbindung zu definieren und bereitzustellen. Dazu zählt die Anbindung der Datenschnittstellen von Sensorik und Aktorik (z. B. Verschmutzungssensor, Temperatur und Druck der Reinigungsmedien, Winkelstellung der Antriebsmotoren für die Positionierung des Zielstrahlreinigers). Außerdem werden weitere Schnittstellen für den Datentransfer bereitgestellt, so z. B. für den Import von CAD-Modellen der Tankgeometrie und für den Export von Daten und Dateien, die zu Dokumentationszwecken gespeichert werden müssen. Ebenso wird eine Datenanbindung an übergeordnete Systeme des Produktionsprozesses realisiert. Für die interne Datenverarbeitung wird eine Anbindung an eine Datenbank eingerichtet.

[0043] Für die spätere Interaktion des Anwenders mit dem Reinigungssystem wird eine Bedieneroberfläche entworfen. Diese umfasst z. B. die manuelle Einstellung von verschiedenen Parametern des Reinigungsprozesses (wie Parameter der Reinigungsbahn), die Visualisierung der manuell eingestellten oder automatisch berechneten Reinigungsbahn im 3D-Modell sowie die Darstellung der Dokumentationsinformationen. Insbesondere der Aspekt der Berechnung, Darstellung und Schaffung einer Interaktionsmöglichkeit des Benutzers bezüglich adaptiver Reinigungsbahnen in Verbindung mit dem flexiblen Reinigungssystem ist ein Novum und wird bislang nicht ansatzweise vom Stand der Technik abgebildet. Besonderes Augenmerk bei der Interfacegestaltung liegt auf der Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen des Softwaresystems. Bevorzugt ist die Benutzeroberfläche nach dem Ecological Interface Design (EID) zur Konzeption der Benutzeroberfläche ausgebildet.

[0044] EID ist ein Ansatz zur Schnittstellengestaltung, der speziell für komplexe soziotechnische, Echtzeit- und dynamische Systeme eingeführt wurde. Es wurde bereits in einer Vielzahl von Bereichen angewendet, darunter Prozesssteuerung (z. B. Kernkraftwerke, petrochemische Anlagen), Luftfahrt und Medizin. EID unterscheidet sich von einigen Interface-Design-Methoden wie User-Centered Design (UCD) dadurch, dass der Fokus der

Analyse auf der Arbeitsdomäne oder -umgebung liegt und nicht auf dem Endbenutzer oder einer bestimmten Aufgabe.

[0045] Das Ziel von EID ist es, Einschränkungen und komplexe Zusammenhänge in der Arbeitsumgebung für den Benutzer wahrnehmbar (z. B. sichtbar, hörbar) zu machen. Dadurch können mehr kognitive Ressourcen der Benutzer für höhere kognitive Prozesse wie Problemlösung und Entscheidungsfindung verwendet werden. EID basiert auf zwei Schlüsselkonzepten aus der Cognitive Engineering-Forschung: der Abstraktionshierarchie (AH) und dem Skills, Rules, Knowledge (SRK-)Framework. Durch die Reduzierung der mentalen Arbeitsbelastung und die Unterstützung wissensbasierter Argumentation zielt EID darauf ab, die Benutzerleistung und die Gesamtsystemzuverlässigkeit für erwartete und unerwartete Ereignisse in einem komplexen System zu verbessern.

[0046] Die Aufgabe der Erfindung wird ebenfalls gelöst durch ein Computerprogramm zur zustandsbasierten Regelung eines Reinigungsprozesses gemäß Anspruch 10, zur Ausführung in einer Computersteuerung eines Reinigungssystems, wie zuvor beschrieben, umfassend die Schritte:

- Übergabe optimierter Parameter an die Steuerung und Regelung bzw. die Regelungseinrichtung;
- Ausgabe von variierten Steueranweisungen aus dem Steuerungs- und Regelungsprozess an den Zielstrahlreiniger;
- Einbeziehen des Verschmutzungszustand auf Grundlage von Sensordaten des Verschmutzungssensors;
- Übergabe eines Verschmutzungskennwerts;
- Erstellung eines digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands;
- Ermittlung des Reinigungsfortschritts und Einbeziehen des aktuellen Reinigungsfortschritts, ermittelt aus den bereits durchgeführten Strahlbewegungen und
- Übergabe des digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands und des Reinigungsfortschritts sowie der aktuell gültigen Prozessparameter an die Steuerung und Regelung (und an die Bewertung des Reinigungsprozesses und die Parameteroptimierung zum Maschinellen Lernen).

[0047] Dabei kann die steuerungstechnische Einwirkung auf den Zielstrahlreiniger minimiert werden, ein vorgegebenes Reinigungsprogramm zunächst unbeeinflusst ablaufen, und der aktuelle Reinigungsfortschritt unter Berücksichtigung des Verschmutzungskennwerts herangezogen, um den Abbruch des Reinigungsprogramms bei Erreichen des Reinigungsziels einzuleiten.

[0048] Ein weiterer Aspekt der erfindungsgemäßen Lösung gemäß Anspruch 10 stellt ein Computerprogramm zur selbstlernenden Optimierung der Startparameter durch bestärkendes Lernen. Dadurch erfolgt eine Optimierung zwischen Prozessen. Das Programm zur Ausführung in einer Computersteuerung eines Reinigungssystems, wie es zuvor beschrieben wurde, umfasst die Schritte:

- Einbeziehen von Ergebnissen einer vorher durchgeführten Simulation, d. h. vor den ersten Einsatz des Reinigungssystems oder vor einem späteren, zu optimierenden Einsatz des Reinigungssystems;
- Einbeziehen von früheren Ereignissen und Daten, die in einer Datenbasis gespeichert sind;
- Einbeziehen von Anforderungen einer übergeordneten Steuerung einer Verarbeitungsanlage, an der Reinigungsprozess durchgeführt wird, die nicht mit dem Reinigungsprozess, sondern mit dem Verarbeitungsprozess zusammenhängen und von diesem bestimmt werden;
- Einbeziehen von gespeichertem Expertenwissen zum Reinigungsprozess;
- Einbeziehen eines digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands;
- Einbeziehen von Prozessparametern des Reinigungsprozesses und
- Ausgabe optimierter Startparameter an die zustandsbasierten Steuerung und Regelung eines Reinigungsprozesses.

[0049] Die vorgenannten Computerprogramme sind konkret auf die Erfordernisse von Lebensmitteltanks zugeschnitten, grundsätzlich jedoch anwendungsoffen programmiert. Die intelligente Prozesssteuerung erzeugt unter Nutzung von Methoden des Maschinellen Lernens (ML) - spezieller des bestärkenden Lernens - ein sich kontinuierlich selbstoptimierendes Reinigungssystem, welches auch auf inhomogene Verschmutzungszustände inline reagiert. Für die große Vielfalt an Verschmutzungszuständen und Reinigungsparametern hat sich eine einfache regelbasierte Steuerung als unzureichend erwiesen. Stattdessen haben sich selbstlernende Modelle als geeignet erwiesen.

[0050] Kernbestandteil des selbstlernenden Modells ist die Implementierung von vorhandenem Fach- und Expertenwissen der Bediener. Dazu gehören Informationen aus vor- und nachgelagerten Prozessen, z. B. Antrocknungsgrad und -ort der Verschmutzung abgeleitet aus Füllzeit, Füllvolumen und Sauberkeitsanforderungen, sowie Simulationsergebnisse. Die Implementierung in die Methodik zur Datenvorverarbeitung und in die Algorithmen der Steuerung erfolgt insbesondere zur Unterstützung bei der Bahnplanung des Zielstrahlreinigers. Diese Strategien ermöglichen aufgrund anfangs fehlender und sich sukzessiv aufbauender Trainingsdatensätze eine dem jetzigen, quasi manuellen Standard gleichwertige bzw. schon überlegene Startparameterauswahl und die Realisierung einer industriell akzeptablen Lerngeschwindigkeit bei der folgenden autonom situationsbezogenen Optimierung.

[0051] Die Grundlage für den Lösungsansatz der

Steuerung bildet somit eine Datenbasis, die zum einen mit externem Wissen (Erfahrungswissen, Simulation etc.) als auch den permanenten Lerneffekten des ML angereichert wird. In einer ersten Optimierungsebene lernt das System von Prozess zu Prozess und verbessert die Startparameterwahl sukzessive durch deren partielle, wissensbasierte Variation und die Lerneffekte aus einer zweiten Optimierungsebene. Diese zusätzliche zweite Optimierungsebene verfolgt die kontinuierliche Optimierung inline im Prozess und reagiert auch auf unvorhergesehene (noch nicht erlernte) Reinigungssituationen. Das gewährleistet die Prozesssicherheit auch während der frühen Trainingsphasen und führt schnell zu vielen Datensätzen.

[0052] Das erfindungsgemäße Reinigungssystem, beispielsweise ein Tankreinigungsroboter, mit integriertem Verschmutzungssensor, kann aufgrund unabhängig motorisch ansteuerbarer x-, y-, und z-Achsenverstellung jeden beliebigen Punkt im Tank oder einem anderen Innenbereich einer Anlage für Reinigung und Detektion von Verschmutzungen anvisieren bzw. abfahren. Damit können die ausgegebenen Steueranweisungen flexibel umgesetzt werden.

[0053] Bestärkendes Lernen, auch als verstärkendes Lernen bezeichnet (englisch reinforcement learning), steht für eine Reihe von Methoden des Maschinellen Lernens, bei denen ein Agent selbstständig eine Strategie erlernt, um erhaltene Belohnungen zu maximieren. Dabei wird dem Agenten nicht vorgezeigt, welche Aktion in welcher Situation die beste ist, sondern er erhält zu bestimmten Zeitpunkten eine Belohnung, die auch negativ sein kann. Anhand dieser Belohnungen approximiert er eine Nutzenfunktion, die beschreibt, welchen Wert ein bestimmter Zustand oder Aktion hat. Bestärkendes Lernen wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung dafür eingesetzt, eine Parameteroptimierung (z. B. Wasserdruck, Wassertemperatur, Reinigungszusätze, Wartezeiten, Reinigungsbahnen u. Ä.) durchzuführen. Das bedeutet, dass auf Basis der Daten des Verschmutzungssensors eine Optimierung mittels Maschinellem Lernen durchgeführt werden soll, welche ein optimiertes Reinigungsprogramm vorgibt. Dabei werden mittels einer Kostenfunktion die Parameter Wasserverbrauch und benötigte Zeit minimiert und zeitgleich ein sauberer Tank geliefert. Außerdem können während des Reinigungsprozesses die Reinigungsparameter angepasst werden. Der Einsatz von bestärkendem Lernen vermeidet im Unterschied zu Deep Learning größeren Aufwand, da beim Deep Learning hunderte von Versuchen im großen Maßstab erfordert.

[0054] Datengetriebene Systeme sind in der Lage, aus der Vielfältigkeit realer Situationen Muster zu identifizieren. Mittels des bestärkenden Lernens, wie es für die vorliegende Erfindung angewendet wird, kann eine Machine-Learning-Software selbstständig Muster in den Reinigungsparametern erkennen. Somit kann sie durch ein Training verbessert werden und liefert im Endergebnis optimierte Reinigungsbahnen. Die erkannten Muster werden zur Steuerung und Regelung herangezogen.

[0055] Die Optimierung der Reinigungsparameter, das Maschinelle Lernen, soll vorzugsweise auf einem separaten Server durchgeführt werden, damit die notwendigen Ressourcen zur Verfügung stehen. Dafür werden die Daten des oder der Verschmutzungssensoren und die Prozessdaten an den Server geschickt.

[0056] Die Entwicklungen im Bereich der Speicher- und Prozessortechnik sorgen dafür, dass die Möglichkeiten dieser Systeme rasant wachsen. So gewinnt deren Einsatz in industriellen Prozessen zunehmend an Bedeutung. Vor allem das Deep Learning, aber auch das bestärkende Lernen, wie es im Rahmen der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommt, hat in den letzten Jahren zu großen Erfolgen geführt, was auch an den bereichsspezifisch großen, zur Verfügung stehenden Datensätzen liegt. Als Beispiel aus einem anderen Gebiet sei die Beherrschung des Go-Spiels lediglich auf Basis von sich selbst trainierenden Computern mit Deep Learning Algorithmen oder dem Training von Hand-Auge Koordination von Robotern mit 800.000 Greifversuchen genannt. Für diese Erfolge waren Methoden des Deep Learning, im speziellen Convolutional Neuronal Networks, im Einsatz.

[0057] Auf dem Gebiet der Reinigung lassen sich jedoch nicht so viele Datensätze in vertretbarer Zeit erzeugen und erschweren so den Einsatz von Deep Learning. Es hat sich aber überraschend gezeigt, dass auch mit kleinen Datenmengen gearbeitet werden kann. Hierzu ist die ausreichende Vorbereitung der Merkmale erforderlich, aus denen der Algorithmus das Modell generiert.

[0058] Als Eingangsdaten benötigt die Software die Daten des Verschmutzungssensors, welche zunächst aus vielen einzelnen Bildern bestehen. Diese sollen zu einem großen Bild zusammengefügt werden, das beispielsweise einen kompletten Tank von innen darstellt. Dieses Bild wird mittels eines Softwarealgorithmus ausgewertet, verschmutze Bereiche werden gekennzeichnet und als Bild oder Matrix ausgegeben. Im Ergebnis wird deutlich, in welchen Bereichen und wie stark beispielsweise ein Tank verschmutzt ist.

[0059] Zudem soll dem Optimierungsalgorithmus ebenfalls ein Bild, ein Array oder eine Matrix zugeführt werden, welche die Schwierigkeit der Reinigung für einzelne Bereiche im Tank darstellt. Das bedeutet, dass im Tank kritische, besonders schwer zu reinigende Bereiche gesondert gekennzeichnet werden. Ein Tankstutzen oder andere Einbauten im Tank würden hierbei hervorgehoben werden, damit sie gezielt und stärker gereinigt werden.

[0060] Dieses Bild, das Array oder die Matrix kann über mehrere unterschiedliche Wege erzeugt werden:

1. Manuelles Kennzeichnen der betreffenden Bereiche im Tank durch einen Experten: Beispielsweise könnten im Bild des aufgeschnittenen Tank die verschiedenen kritischen Bereiche farbig markiert werden.

2. Mittels Maschinellem Lernen: Beispielsweise werden über Objekterkennung und Segmentierung schwer zu reinigende Bereiche in einem Weißlicht-Bild erkannt.
3. Mittels CAD-Modells: Mit Hilfe eines CAD-Modells wird die Tankgeometrie in ein Bild oder Array überführt.

[0061] Das CAD-Modell wird mit allen verfügbaren Informationen als Lernhilfe "gefüttert". Das betrifft Strategien zur Integration von Erfahrungswissen oder Informationen aus vorgelagerten Prozessen. Relevante Informationen können die Verschmutzungsart, die Antrocknungsdauer, die Umgebungstemperatur etc. sein. Diese Informationen können von einer übergeordneten Steuerung oder von einem Bediener nach Eingabe der Informationen abgerufen werden. Die Informationen lassen auf die Verschmutzungscharakteristik schließen. Die Verschmutzungscharakteristik kann auch im Rahmen einer Simulation bestimmt werden. So können auch mit wenigen Datensätzen bereits gute Erfolge erzielt und die Nutzung der zuvor beschriebenen Methoden im industriellen Kontext ermöglicht werden.

[0062] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Datenträgersignal eines Computerprogramms, mit dem dieses verteilt werden kann. Das Datenträgersignal kann beispielsweise auf einem Datenträger gespeichert sein oder im Internet zum Download angeboten werden.

[0063] Der datenverarbeitende Teil der Software, der computerimplementierten Erfindung, ist der Hauptteil der Software, realisiert mithilfe einer geeigneten Softwarearchitektur, die den Gesamtablauf und das Zusammenspiel von Steuerung, Regelung und Optimierung des Reinigungsvorgangs sowie das gesamte Datenhandling kontrolliert. Außerdem wird an dieser Stelle das unabdingbare Prozesswissen integriert. Als Optimierungsgrundlage des Reinigungsprozesses wird ein Modell mittels Maschinellen Lernens (ML) erstellt. Die Eingangsdaten werden aus dem Prozessverständnis abgeleitet, bspw. Prozessparameter wie Temperatur, Druck, Reinigungsmedien, aber auch aus daraus errechneten Kenngrößen (Merkmale). Als Zielgröße für das ML-Modell wird eine Belohnungsfunktion angeboten, die eine Gesamtbewertung von erzieltem Reinigungserfolg und den real erforderlichen Aufwendungen (Zeit, Energie, Wasser, Reinigungschemie) ermöglicht. Durch gezielte Parametervariation auf Basis evolutionärer Algorithmen und metaheuristischer Optimierung werden Methoden zur Generierung neuer Prozessparameter implementiert.

[0064] Ein erfindungsgemäßer Algorithmus der zustandsbasierten Regelung des Reinigungsprozesses umfasst die Schritte:

- Übergabe optimierter Parameter an die Steuerung und Regelung,
- Übergabe variierter Prozessparameter an den Zielstrahlreiniger aus der Steuerung und Regelung,
- Detektion des Verschmutzungszustands durch den Verschmutzungssensor und Übergabe eines Verschmutzungskennwerts,
- Erstellung eines digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands
- Ermittlung des Reinigungsfortschritts,
- Übergabe des digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands und des Reinigungsfortschritts sowie der aktuell gültigen Prozessparameter an die Steuerung und Regelung (und an die Bewertung des Reinigungsprozesses und die Parameteroptimierung zum Maschinellen Lernen).

[0065] Ein bevorzugter Algorithmus zur selbstlernenden Optimierung der Startparameter als eine Optimierung zwischen Prozessen umfasst die Schritte:

- Übergabe von Daten die Bewertung des Reinigungsprozesses und die Parameteroptimierung zum Maschinellen Lernen aus:
  - einer Simulation,
  - einer Datenbasis,
  - Expertenwissen zum Reinigungsprozess,
  - aktuell gültige Prozessparameter,
  - aktuell gültiges digitales Abbild des Verschmutzungszustands und des Reinigungsfortschritts,
  - Daten aus der übergeordneten Steuerung der Verarbeitungsanlage;
- Ausgabe optimierter Parameter an die Steuerung und Regelung,
- Ausgabe von Daten an die Datenbasis.

[0066] Das Computerprogramm und das Datenträgersignal für die zustandsbasierte Regelung des Reinigungsprozesses sowie zur selbstlernenden Optimierung der Startparameter kann als Hardware implementiert sein oder als Software implementiert, z. B. auf einem Computer ablaufen.

[0067] Auch ein Nachrüsten bestehender Reinigungssysteme mit dem erfindungsgemäßen System ist vorgesehen. Es hat sich gezeigt, dass hierbei eine begrenzte Baugröße zu berücksichtigen ist, die mit den oben erörterten Herausforderungen verbunden ist. Passt beispielsweise ein bestehendes System durch einen DN 125 Stutzen und wird auch an einem solchen montiert, muss beim Ersatz des bestehenden Systems durch ein neues System gemäß der vorliegenden Erfindung dieses ebenso durch den DN 125 Stutzen passen.

[0068] Die vorliegende Erfindung bietet ein kombiniertes System aus frei parametrierbarem Aktuator (Tankreiniger) mit integrierter, innovativer Verschmutzungssensorik, die in Echtzeit den aktuellen Verschmutzungszustand im Tank detektiert. Gemeinsam mit der sich aufbauenden Sammlung historischer Daten und Informationen aus vor- und nachgelagerten Prozessen wird

die intelligente Prozesssteuerung in die Lage versetzt, die Reinigungsprozesse stets situationsbezogen nahe dem jeweiligen Optimum zu führen. Auf die stark variierenden Verschmutzungszustände reagiert das erfindungsgemäße Reinigungssystem situationsbezogen, indem es mittels eines implementierten Selbstlernalgorithmus nach einer Anlernphase stets die optimale Reinigungsprozedur vorauswählt und inline bedarfsgerecht nachjustiert.

[0069] Anhand der Beschreibung von Ausführungsbeispielen und ihrer Darstellung in den zugehörigen Zeichnungen wird die Erfindung nachfolgend näher erläutert.

[0070] Fig. 1 zeigt schematisch eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Reinigungssystems 1, umfassend einen Teleskoparm 2, einen Rotationskopf 4, angeordnet an einem ersten Ende des Teleskoparms 2, und einen Düsenarm 8, der drehbar mit einem ersten Ende an dem Rotationskopf 4 angeordnet ist. Das zweite Ende des Düsenarms 8 weist eine Düse 6 auf, die zur Abgabe eines Reinigungsmittels, bevorzugt in flüssiger Form, ausgebildet ist. Das Reinigungsmittel kann auch gasförmig oder pulverförmig sein und ebenfalls als Strahl ausgebracht werden.

[0071] Der Teleskoparm 2 ist drehbar ausgeführt (vergleiche Pfeilrichtung) und ist hierzu mit einem nicht dargestellten Antrieb an seinem zweiten Ende verbunden. Außerdem kann die Höhe des Rotationskopfs 4 in vertikaler Richtung verändert werden, indem der Teleskoparm 2 seine Länge verändert.

[0072] Der Antrieb von Teleskoparm 2 und Düsenarm 8, der relativ zu dem Rotationskopf 4 beweglich ist (vgl. Pfeilrichtung dort), kann voll motorisiert oder halbmotorisiert erfolgen, wobei auch ein Fluidantrieb vorgesehen ist. Dadurch kann jeder einzelne Punkt in dem zu reinigenden Raum, Tank bzw. Behälter gezielt mit dem Strahl Reinigungsmittel angesteuert werden. Eine beliebige Auslegung von Reinigungsbahnen ist möglich, da die ansteuerbaren Achsen unabhängig voneinander verändert werden können.

[0073] Fig. 2 zeigt schematisch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Reinigungssystems 1, hier insbesondere den Rotationskopf 4, der den Düsenarm 8, kombiniert mit dem Sensorarm 22, aufweist. Somit sind die Düse 6, eine Lichtquelle 24 und ein Verschmutzungssensor 26 gemeinsam in einer einzigen gegenüber dem Rotationskopf 4 beweglichen Einheit angeordnet. Die Lichtquelle 24 und der Verschmutzungssensor 26 bilden gemeinsam die Sensoreinrichtung 20.

[0074] Eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reinigungssystems 1 zeigt Fig. 3, wo der Düsenarm 8 mit der Düse 6 und der Sensorarm 22 mit der Sensoreinrichtung 20 (umfassend die Lichtquelle 24 und den Verschmutzungssensor 26) an unterschiedlichen Stellen des Rotationskopf 4 angeordnet sind. Dabei können beide nach einer ersten Ausführungsform durch eine gemeinsame Welle synchron angetrieben werden oder nach einer zweiten Ausführungsform jeweils in eine unterschiedlich Position gebracht werden, wozu für Düsenarm 8 und Sensorarm 22 jeweils unterschiedliche Antriebe vorgesehen sind.

[0075] In Fig. 4 ist eine Ausführungsform dargestellt, bei der die Sensoreinrichtung 20 innerhalb des Rotationskopfs 4 vor den Einflüssen während der Reinigung (v. a. hohe Temperaturen, aggressive Chemikalien) geschützt angeordnet ist. Dazu muss das Gehäuse des Rotationskopfs 4 zumindest teilweise transparent, soweit Licht der Lichtquelle 24 hindurchdringen soll, und teilweise durchsichtig, soweit der Verschmutzungssensor 26, insbesondere wenn er als Kamera ausgebildet ist, nach außerhalb des Rotationskopfs 4 sehen können soll.

[0076] Die Sensoreinrichtung 20 kann beim Antrieb des Düsenarms 8 mitgeführt werden oder aber eine eigene Bewegung mittels eines eigenen Antriebs ausführen.

[0077] Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reinigungssystems 1, bei der die Sensoreinrichtung 20 beabstandet von dem Rotationskopf 4 in dem Teleskoparm 2 angeordnet ist. Diese Sensoreinrichtung 20 kann als zusätzliche Sensoreinrichtung, beispielsweise zusätzlich zu einer in dem Rotationskopf 4 angeordneten Sensoreinrichtung 20, vorgesehen sein. Dadurch wäre es möglich, bei der Vorwärtsbewegung des Rotationskopfs 4 in vertikaler Richtung nach unten den zuvor gereinigten Bereich nach Ablaufen der Reinigungsflüssigkeit zu inspizieren und sofort den Reinigungserfolg dokumentieren, an die Steuerungseinrichtung zu übertragen und gegebenenfalls eine Nachreinigung auslösen zu können.

[0078] Fig. 6 zeigt den Teleskoparm 2 mit dem Rotationskopf 4 an seinem ersten Ende und der Antriebseinrichtung 3 an seinem zweiten Ende. Es sind zwei Positionen, die der Teleskoparm 2 in vertikaler Richtung einnehmen kann, gezeigt. Auf der linken Darstellung hat der Teleskoparm 2 seine maximale Länge erreicht, während die Darstellung auf der rechten Seite die minimale vertikale Ausdehnung zeigt.

[0079] Fig. 7 zeigt schematisch eine teilgeschnittene Darstellung einer alternativen Ausführung eines Teleskoparms 2 des erfindungsgemäßen Reinigungssystems 1, der im Unterschied zur Ausführungsform gemäß Fig. 6 ohne weitere Unterteilung auskommt, angebaut an einen Tankdeckel 30 und ausgestattet mit dem Rotationskopf 4.

[0080] Ein separater Motor der Antriebseinrichtung 3 erzeugt eine vertikale Verfahrbewegung des Rotationskopfs 4 in den Tank (siehe Pfeilrichtung), durch den Tankdeckel 30 hindurch, wobei in der Antriebseinrichtung 3 die Übertragung der Antriebskraft des Motors mittels Spindel, über Riementrieb, Kettentrieb oder Zahnstange erfolgen kann. Die Linearführung erfolgt durch ein entsprechendes gleitfähiges Gestell 32, das in einer Gleitführung 34 längsbeweglich gelagert ist.

[0081] Die Grundlage für den steuerungstechnischen Lösungsansatz gemäß Fig. 8 bildet eine Datenbasis, die

zum einen mit externem Wissen (Erfahrungswissen, Simulation etc.) als auch den permanenten Lerneffekten angereichert wird. In der Optimierungsebene 1 lernt das System von Prozess zu Prozess und verbessert die Startparameterwahl sukzessive durch deren partielle, wissensbasierte Variation und die Lerneffekte aus Optimierungsebene 2. Diese zusätzliche Ebene 2 verfolgt die kontinuierliche Optimierung inline im Prozess und reagiert auch auf unvorhergesehene (noch nicht gelernte) Reinigungssituationen. Das gewährleistet die Prozesssicherheit auch während der frühen Trainingsphasen und führt schnell zu einer großen Zahl von Datensätzen.

[0082] Es werden zwei Prozesse ausgeführt:

- eine zustandsbasierte Regelung des Reinigungsprozesses und
- eine selbstlernende Optimierung der Startparameter als eine Optimierung zwischen Prozessen.

[0083] Beim Maschinellen Lernen erfolgen eine Bewertung und ein Vergleich des Reinigungsprozesses sowie eine Parameteroptimierung. Hierzu fließen in den Prozess des Maschinellen Lernens ein:

- Ergebnisse einer Simulation
- Ereignisse und Daten, die in einer Datenbasis gespeichert
- Anforderung einer übergeordneten Steuerung einer Verarbeitungsanlage
- Expertenwissen zum Reinigungsprozess
- digitales Abbild des Verschmutzungszustands
- Prozessparameter

und gibt optimierte Startparameter an den Steuerungs- und Regelungsprozess aus.

[0084] Die Steuerung und Regelung stellt eine kontinuierliche Regelung im Prozess, wobei der Zielstrahlreiniger durch Variation von Prozessparametern gesteuert wird, insbesondere dessen Strahlbewegung und damit Reinigungsprozess voranschreitet (Reinigungsfortschritt), was zu einem verringerten Verschmutzungszustand führt, der durch einen Verschmutzungssensor detektiert wird, dessen Messergebnis (ein digitales Abbild des Verschmutzungszustands) in den Steuerungs- und Regelungsprozess einfließt. Die Strahlbewegungen werden mittels dokumentierter Ansteuerbefehle an die Manipulatoren, beispielsweise Schrittmotoren, die die geforderte Düsenstellung der Düsen bewirken, und/oder durch Positionssensoren in den Düsen, die deren Düsenstellung feststellt, ermittelt. Diese Daten, soweit erhoben und vorliegend, fließen ebenfalls in beiden Steuerungsprozesse, Steuerung des Reinigungsprozesses und Maschinelles Lernen, ein. Die Positionssensoren sind auch Teil der Sensoreinrichtung.

[0085] Der Steuerungs- und Regelungsprozess leitet die Prozessparameter zur Bewertung und zum Vergleich sowie zur Parameteroptimierung dem Prozess des Maschinellen Lernens zu.

[0086] Das Softwarekonzept kann als Hardware, in der Steuerungs- und Regelungseinrichtung, implementiert sein oder als Software implementiert auf einem Computer ablaufen.

Bezugszeichenliste

[0087]

1	Reinigungssystem
2	Teleskoparm
3	Antriebseinrichtung
4	Rotationskopf
6	Düse
8	Düsenarm
10	Strahl Reinigungsmittel
20	Sensoreinrichtung, Kamera
22	Sensorarm
24	Lichtquelle
26	Verschmutzungssensor
30	Tankdeckel
32	gleitfähiges Gestell
34	Gleitführung

Patentansprüche

1. Reinigungssystem, umfassend einen Zielstrahlreiniger, der seinerseits wenigstens eine Düse (6) zur Abgabe von Reinigungsmittel in Form wenigstens eines Strahls umfasst, wobei die Düse (6) an einem Rotationskopf (4) angeordnet und dort mit einer Manipulationseinrichtung verbunden ist, die die Düse (6) so bewegen kann, dass der Strahl in alle Richtungen gelenkt wird, wobei weiterhin der Rotationskopf (4) an einem ersten Ende eines Teleskoparms (2) angeordnet ist, wobei das Reinigungssystem (1) zumindest eine Regelungseinrichtung zur zustandsbasierten Regelung des Reinigungsprozesses und wenigstens eine Sensoreinrichtung (20), umfasst, wobei die Sensoreinrichtung (20) wenigstens einen Verschmutzungssensor (26) und wenigstens eine Lichtquelle (24) umfasst, die zur Detektion eines Verschmutzungszustands und zur Übergabe eines Verschmutzungskennwerts dienen und somit eingerichtet sind ein digitales Abbild des Verschmutzungszustands zu erstellen, und wobei die Sensoreinrichtung (20) mit der Regelungseinrichtung zumindest zur Übertragung von Sensordaten verbunden ist, wobei die Regelungseinrichtung zur Ausführung wenigstens eines Computerprogramms eingerichtet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Computerprogramm einen implementierten Selbstlernalgorithmus umfasst, welcher dazu eingerichtet ist, auf die stark variierenden Verschmutzungszustände situationsbezogen zu reagieren, indem nach einer Anlernphase stets die optimale Reinigungsprozedur vorausgewählt und inline bedarfsgerecht nachjustiert wird, sodass die Re-

gelungseinrichtung dazu eingerichtet ist, den Reinigungsprozess situationsbezogen nahe dem jeweiligen Optimum zu führen.

2. Reinigungssystem nach Anspruch 1, wobei die wenigstens eine Sensoreinrichtung (20) nach einer ersten Ausführungsform in einem beweglichen Sensorarm (22) angeordnet ist oder/und wobei die wenigstens eine Sensoreinrichtung (20) nach einer zweiten Ausführungsform in dem Rotationskopf (4) angeordnet ist oder/und wobei die wenigstens eine Sensoreinrichtung (20) in dem Teleskoparm (2), beabstandet von dem Rotationskopf (4), angeordnet ist.

3. Reinigungssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Lichtquelle (24) und/oder der Verschmutzungssensor (26) eine aktive und/oder eine passive Kühleinrichtung umfasst.

4. Reinigungssystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Lichtquelle (24) als eine umschaltbare Hybrid-Lösung für die Abgabe unterschiedlicher Lichtspektren ausgeführt ist.

5. Reinigungssystem nach Anspruch 4, wobei die Lichtquelle (24) wenigstens eine LED umfasst und/oder zumindest für UV-Licht, Tageslicht oder Weißlicht umschaltbar ist.

6. Reinigungssystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Lichtquelle (24) eine Lichtsteuerungseinrichtung umfasst, die steuerbare optische Komponenten aufweist und einen veränderlichen Ausleuchtungsdurchmesser ermöglicht, wobei zu Beginn der Reinigung, bei hohem Verschmutzungsgrad, wenn die Verschmutzung leicht zu detektieren ist, eine kleinere Brennweite eingestellt wird, durch die ein großer Bereich mit geringer Lichtleistung pro Fläche ausgeleuchtet wird und gegen Ende der Reinigung, wenn optische Detektionsgrenzen durch Abnahme der Schichtdicke eine immer größere Rolle spielen, durch Erhöhung der Brennweite mit starker Fokussierung auf kleiner Fläche ausgeleuchtet wird.

7. Reinigungssystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Verschmutzungssensor (26) als eine Kameraeinrichtung ausgeführt ist, die steuerbare optische Komponenten aufweist.

8. Reinigungssystem nach Anspruch 6 oder 7, wobei die steuerbaren optischen Komponenten als Zoomobjektiv mit gesteuert veränderbarer Brennweite ausgeführt sind.

9. Reinigungssystem nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Teleskoparm (2) seine in einen zu reinigenden Raum einragende Länge ändern und damit den Rotationskopf (4) in dem Raum in einer Längsrichtung veränderlich positionieren kann.

10. Computerprogramm umfassend Befehle, die Bewirken, dass eine Regelungseinrichtung eines Reinigungssystems nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ein zustandsbasiertes Regelungsverfahren, welches die folgenden Schritte umfasst, ausführt:

- Übergabe optimierter Parameter an die Regelungseinrichtung,
- Ausgabe von variierten Steueranweisungen aus dem Steuerungs- und Regelungsprozess an den Zielstrahlreiniger;
- Einbeziehen des Verschmutzungszustands auf Grundlage von Sensordaten des Verschmutzungssensors;
- Übergabe eines Verschmutzungskennwerts;
- Erstellung eines digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands;
- Ermittlung des Reinigungsfortschritts und Einbeziehen des aktuellen Reinigungsfortschritts, ermittelt zumindest aus den bereits durchgeführten Strahlbewegungen;
- Übergabe des digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands und des Reinigungsfortschritts sowie der aktuell gültigen Prozessparameter an die Regelungseinrichtung und
- Übergabe des digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands und des Reinigungsfortschritts sowie der aktuell gültigen Prozessparameter zur Bewertung des Reinigungsprozesses an die Parameteroptimierung zur selbstlernenden Optimierung der Startparameter.

11. Computerprogramm umfassend Befehle, die bewirken, dass eine Regelungseinrichtung eines Reinigungssystems nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ein selbstlernendes Optimierungsverfahren für Startparameter eines Reinigungsverfahrens, welches die folgenden Schritte umfasst, ausführt:

- Einbeziehen von Ergebnissen einer zuvor durchgeführten Simulation;
- Einbeziehen von Ereignissen und Daten aus einem früheren Reinigungsprozess, die in einer Datenbasis gespeichert sind;
- Einbeziehen von Anforderungen einer übergeordneten Steuerung einer Verarbeitungsanlage, an der der Reinigungsprozess durchgeführt wird;
- Einbeziehen von gespeichertem Expertenwissen zum Reinigungsprozess;
- Einbeziehen eines digitalen Abbilds des Verschmutzungszustands;
- Einbeziehen von Prozessparametern des Reinigungsprozesses;
- Ausgabe optimierter Startparameter an die

zustandsbasierte Steuerung und Regelung des Reinigungsprozesses und
• Ausgabe von Daten an die Datenbasis.

12. Datenträgersignal eines Computerprogramms nacheinem der Ansprüche 10 oder 11.

Claims

1. A cleaning system comprising a targeted jet cleaner, which in itself comprises at least one nozzle (6) for dispensing cleaning agent in the form of at least one jet, wherein the nozzle (6) is arranged on a rotary head (4) and is connected there to a manoeuvring device capable of moving the nozzle (6) such that the jet is directed in all directions, wherein, furthermore, the rotary head (4) is arranged at a first end of a telescopic arm (2), wherein the cleaning system (1) comprises at least one control device for state-based control of the cleaning process and at least one sensor device (20), wherein the sensor device (20) comprises at least one contamination sensor (26) and at least one light source (24) which serve to detect a contamination state and to transmit a contamination parameter, and are thus configured to generate a digital representation of the contamination state, and wherein the sensor means (20) is connected to the control means at least for the transmission of sensor data, wherein the control means is configured to execute at least one computer programme, **characterised in that** the computer programme comprises an implemented self-learning algorithm which is configured to respond to the widely varying contamination states on a situation-specific basis by always preselecting the optimal cleaning procedure following a training phase and readjusting it inline as required, so that the control device is configured to manage the cleaning process on a situation-specific basis close to the respective optimum.

2. Cleaning system according to claim 1, wherein, in a first embodiment, the at least one sensor device (20) is arranged in a movable sensor arm (22) or/and wherein, in a second embodiment, the at least one sensor device (20) is arranged in the rotary head (4) or/and wherein the at least one sensor device (20) is arranged in the telescopic arm (2), spaced apart from the rotary head (4).

3. Cleaning system according to claim 1 or 2, wherein the light source (24) and/or the contamination sensor (26) comprises an active and/or a passive cooling device.

4. Cleaning system according to any one of the preceding claims, wherein the light source (24) is designed as a switchable hybrid solution for emitting different light spectra.

5. Cleaning system according to claim 4, wherein the light source (24) comprises at least one LED and/or is switchable at least between UV light, daylight or white light.

6. Cleaning system according to any one of the preceding claims, wherein the light source (24) comprises a light control device which includes controllable optical components and enables a variable illumination diameter, wherein at the start of cleaning, when the degree of soiling is high and the soiling is easy to detect, a shorter focal length is set, thereby illuminating a large area with low light intensity per unit area; and towards the end of the cleaning process, when optical detection limits play an increasingly significant role due to a decrease in layer thickness, the area is illuminated with strong focusing on a small area by increasing the focal length.

7. Cleaning system according to any one of the preceding claims, wherein the contamination sensor (26) is designed as a camera device comprising controllable optical components.

8. Cleaning system according to claim 6 or 7, wherein the controllable optical components are designed as a zoom lens with a controllably variable focal length.

9. A cleaning system according to any one of the preceding claims, wherein the telescopic arm (2) can vary its length extending into a room to be cleaned and thereby variably position the rotary head (4) within the room in a longitudinal direction.

10. A computer programme comprising instructions which cause a control device of a cleaning system according to any one of claims 1 to 9 to execute a state-based control method comprising the following steps:

• Transferring optimised parameters to the control device,
• Outputting varied control instructions from the control and regulation process to the target beam cleaner;
• taking into account the contamination status based on sensor data from the contamination sensor;
• transmitting a contamination parameter;
• creating a digital representation of the contamination status;
• determining the cleaning progress and taking into account the current cleaning progress, determined at least from the jet movements already carried out;

• Transferring the digital representation of the contamination status and the cleaning progress, as well as the currently valid process parameters, to the control unit; and
• Transferring the digital representation of the contamination status and the cleaning progress, as well as the currently valid process parameters, for the evaluation of the cleaning process to the parameter optimisation module for the self-learning optimisation of the start parameters.

11. A computer program comprising instructions which cause a control unit of a cleaning system according to any one of claims 1 to 9 to execute a self-learning optimisation method for start parameters of a cleaning process, which comprises the following steps:

• Incorporating results from a previously performed simulation;
• Incorporating events and data from a previous cleaning process stored in a database;
• Incorporating requirements from a higher-level control system of a processing plant in which the cleaning process is carried out;
• Incorporating stored expert knowledge regarding the cleaning process;
• Incorporating a digital representation of the contamination status;
• Incorporating process parameters of the cleaning process;
• Outputting optimised start-up parameters to the state-based control and regulation of the cleaning process; and
• Outputting data to the database.

12. A data carrier signal of a computer program according to any one of claims 10 or 11.

Revendications

1. Système de nettoyage, comprenant un nettoyeur à jet cible qui comprend de son côté au moins une buse (6) pour la distribution de détergent sous la forme d'au moins un jet, dans lequel la buse (6) est disposée sur une tête de rotation (4) et y est connectée à un dispositif de manipulation qui peut déplacer la buse (6) de sorte que le jet est dirigé dans toutes les directions, dans lequel la tête de rotation (4) est en outre disposée à une première extrémité d'un bras télescopique (2), dans lequel le système de nettoyage (1) comprend au moins un dispositif de régulation pour la régulation basée sur l'état du processus de nettoyage et au moins un dispositif de capteur (20), dans lequel le dispositif de capteur (20) comprend au moins un capteur d'encrassement (26) et au moins une source lumineuse (24) qui servent à la détection d'un état d'encrassement et au transfert d'une valeur caractéristique d'encrassement, et sont ainsi configurés pour créer une image numérique de l'état d'encrassement, et dans lequel le dispositif de capteur (20) est connecté au dispositif de régulation au moins pour la transmission de données de capteur, dans lequel le dispositif de régulation est configuré pour l'exécution d'au moins un programme informatique, **caractérisé en ce que** le programme informatique comprend un algorithme d'apprentissage automatique mis en œuvre qui est configuré pour réagir par rapport à la situation aux états d'encrassement à forte variation **en ce qu'**après une phase de formation, la procédure de nettoyage optimale est toujours présélectionnée et réajustée en ligne en fonction des besoins de sorte que le dispositif de régulation est configuré pour guider le processus de nettoyage par rapport à la situation près de l'optimum respectif.

2. Système de nettoyage selon la revendication 1, dans lequel l'au moins un dispositif de capteur (20) est disposé selon une première forme de réalisation dans un bras de capteur mobile (22) ou/et dans lequel l'au moins un dispositif de capteur (20) est disposé selon une seconde forme de réalisation dans la tête de rotation (4) ou/et dans lequel l'au moins un dispositif de capteur (20) est disposé dans le bras télescopique (2) à distance de la tête de rotation (4).

3. Système de nettoyage selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la source lumineuse (24) et/ou le capteur d'encrassement (26) comprend un dispositif de refroidissement actif et/ou passif.

4. Système de nettoyage selon une des revendications précédentes, dans lequel la source lumineuse (24) est réalisée en tant que solution hybride pouvant être commutée pour la distribution de différents spectres lumineux.

5. Système de nettoyage selon la revendication 4, dans lequel la source lumineuse (24) comprend au moins une LED et/ou peut être commutée au moins pour de la lumière UV, de la lumière du jour ou de la lumière blanche.

6. Système de nettoyage selon une des revendications précédentes, dans lequel la source lumineuse (24) comprend un dispositif de commande lumineuse qui présente des composants optiques pouvant être commandés et permet un diamètre d'éclairage variable, dans lequel au début du nettoyage, en cas de degré d'encrassement élevé, lorsque l'encrassement est facile à détecter, une distance focale assez petite est réglée, par laquelle une grande zone est éclairée avec une faible puissance lumineuse par

surface et vers la fin du nettoyage, lorsque des limites de détection optique par diminution de l'épaisseur de couche jouent un rôle de plus en plus important, un éclairage est réalisé par augmentation de la distance focale avec une focalisation plus forte sur une petite surface.

7. Système de nettoyage selon une des revendications précédentes, dans lequel le capteur d'encrassement (26) est réalisé en tant que dispositif de caméra qui présente des composants optiques pouvant être commandés.

8. Système de nettoyage selon la revendication 6 ou 7, dans lequel les composants optiques pouvant être commandés sont réalisés en tant qu'objectif à zoom avec une distance focale pouvant être modifiée de manière commandée.

9. Système de nettoyage selon une des revendications précédentes, dans lequel le bras télescopique (2) peut changer sa longueur pénétrant dans un espace à nettoyer et ainsi positionner de manière variable la tête de rotation (4) dans l'espace dans une direction longitudinale.

10. Programme informatique comprenant des commandes qui entraînent qu'un dispositif de régulation d'un système de nettoyage selon une des revendications 1 à 9 réalise un procédé de régulation basé sur l'état qui comprend les étapes suivantes :

- transfert de paramètres optimisés au dispositif de régulation,
- sortie d'instructions de commande variées provenant du processus de commande et de régulation vers le nettoyeur à jet cible ;
- incorporation de l'état d'encrassement sur la base de données de capteur du capteur d'encrassement ;
- transfert d'une valeur caractéristique d'encrassement ;
- création d'une image numérique de l'état d'encrassement ;
- détermination du progrès de nettoyage et incorporation du progrès de nettoyage actuel, déterminé au moins à partir des mouvements de jet déjà réalisés ;
- transfert de l'image numérique de l'état d'encrassement et du progrès de nettoyage ainsi que des paramètres de processus actuellement valables au dispositif de régulation et
- transfert de l'image numérique de l'état d'encrassement et du progrès de nettoyage ainsi que des paramètres de processus actuellement valables pour l'évaluation du processus de nettoyage à l'optimisation de paramètre pour l'optimisation d'apprentissage automatique des paramètres de démarrage.

11. Programme informatique comprenant des commandes qui entraînent qu'un dispositif de régulation d'un système de nettoyage selon une des revendications 1 à 9 réalise un procédé d'optimisation d'apprentissage automatique pour des paramètres de démarrage d'un procédé de nettoyage qui comprend les étapes suivantes :

- incorporation de résultats d'une simulation réalisée auparavant ;
- incorporation d'événements et de données provenant d'un processus de nettoyage antérieur qui sont mémorisés dans une base de données ;
- incorporation d'exigences d'une commande supérieure d'une installation de traitement sur laquelle le processus de nettoyage est réalisé ;
- incorporation de savoir d'expert mémorisé concernant le processus de nettoyage ;
- incorporation d'une image numérique de l'état d'encrassement ;
- incorporation de paramètres de processus du processus de nettoyage ;
- sortie de paramètres de démarrage optimisés vers les commande et régulation basées sur l'état du processus de nettoyage et
- sortie de données vers la base de données.

12. Signal de support de données d'un programme informatique selon une des revendications 10 ou 11.

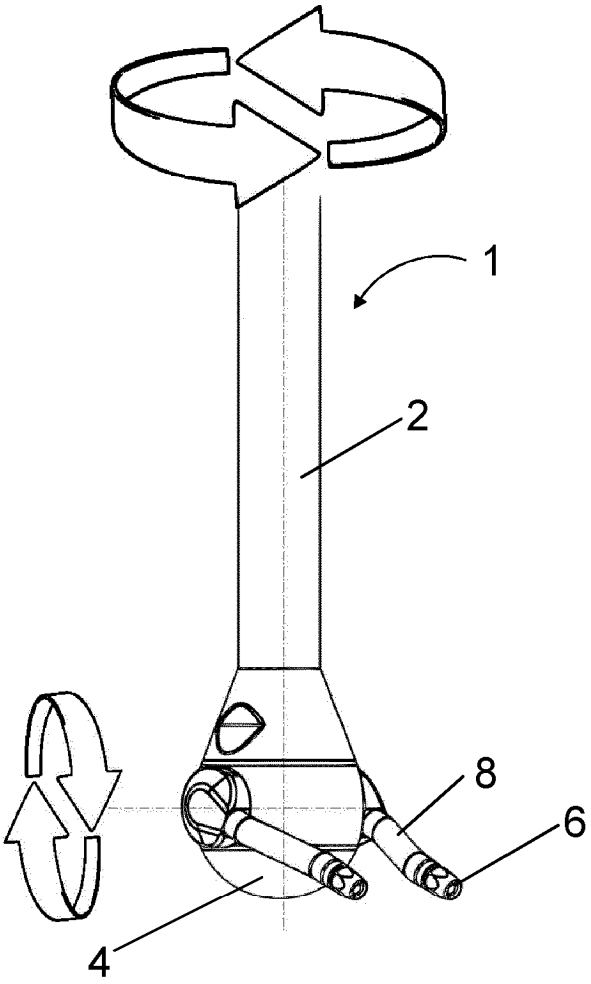


Fig. 1

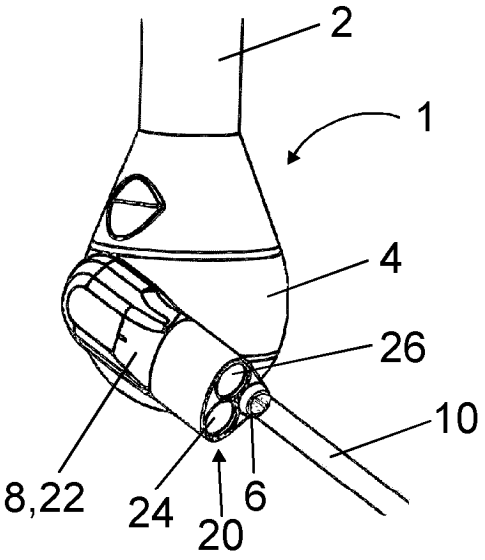


Fig. 2

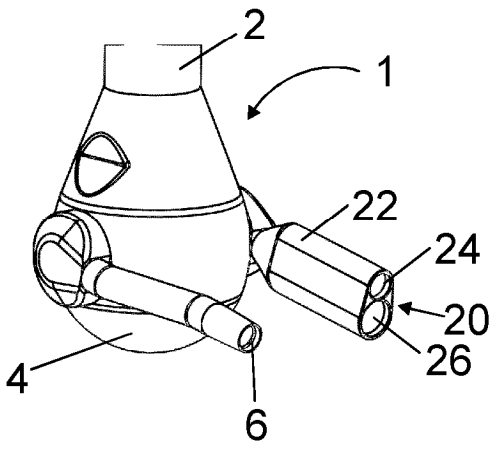


Fig. 3

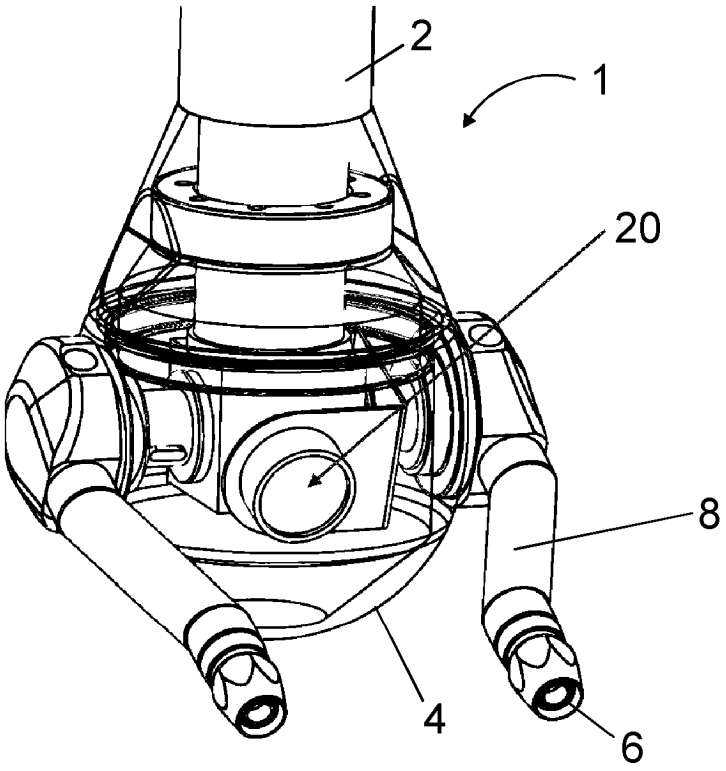


Fig. 4

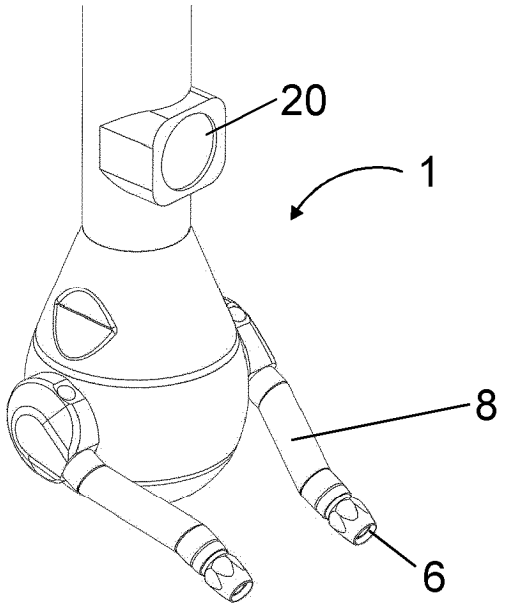


Fig. 5

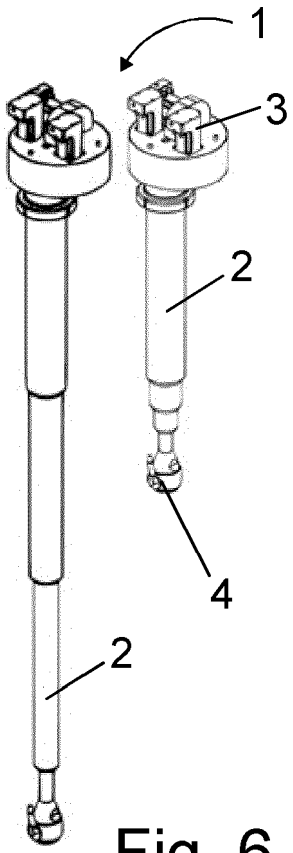


Fig. 6

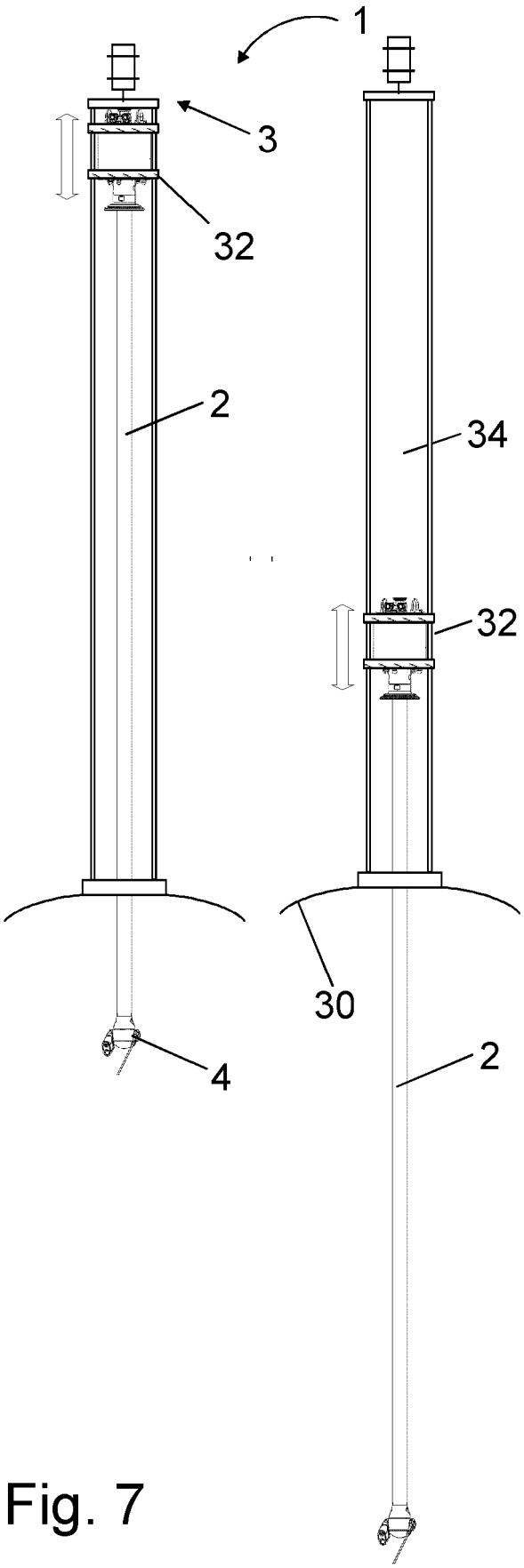


Fig. 7

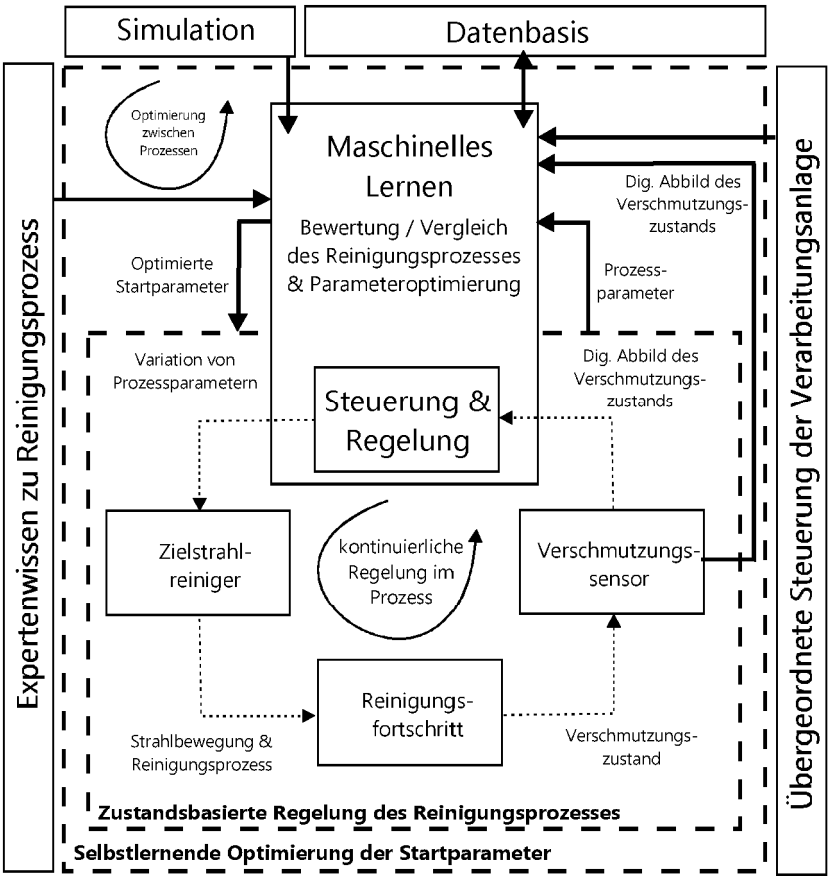

Simulation
Datenbasis
Expertenwissen zu Reinigungsprozess
Übergeordnete Steuerung der Verarbeitungsanlage
Optimierung zwischen Prozessen
Maschinelles Lernen
Bewertung / Vergleich des Reinigungsprozesses & Parameteroptimierung
Dig. Abbild des Verschmutzungs-zustands
Optimierte Startparameter
Prozess-parameter
Variation von Prozessparametern
Steuerung & Regelung
Dig. Abbild des Verschmutzungs-zustands
Zielstrahl-reiniger
kontinuierliche Regelung im Prozess
Verschmutzungs-sensor
Reinigungs-fortschritt
Strahlbewegung & Reinigungsprozess
Verschmutzungs-zustand
Zustandsbasierte Regelung des Reinigungsprozesses
Selbstlernende Optimierung der Startparameter

Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102018114476 A1 **[0005]**
- DE 102018114476 B3 **[0006]**
- WO 2020139839 A1 **[0007]**
- KR 101467341 B1 **[0008]**
- US 20100050366 A1 **[0008]**
- DE 102017115837 A1 **[0008]**
- EP 3517226 A3 **[0008]**