

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43)

Veröffentlichungstag:

03.04.2024 Patentblatt 2024/14

(51)

Internationale Patentklassifikation (IPC):

G10K 11/178^(2006.01)

(21)

Anmeldenummer: 22197966.9

(52)

Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

G10K 11/17823; G10K 11/17857; G10K 11/17873;
G10K 2210/12; G10K 2210/3052

(22)

Anmeldetag: 27.09.2022

(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

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA ME

Benannte Validierungsstaaten:

KH MA MD TN

(71)

Anmelder: Siemens Schweiz AG

8047 Zürich (CH)

(72)

Erfinder: Mayer, Hermann Georg

83209 Prien am Chiemsee (DE)

(54)

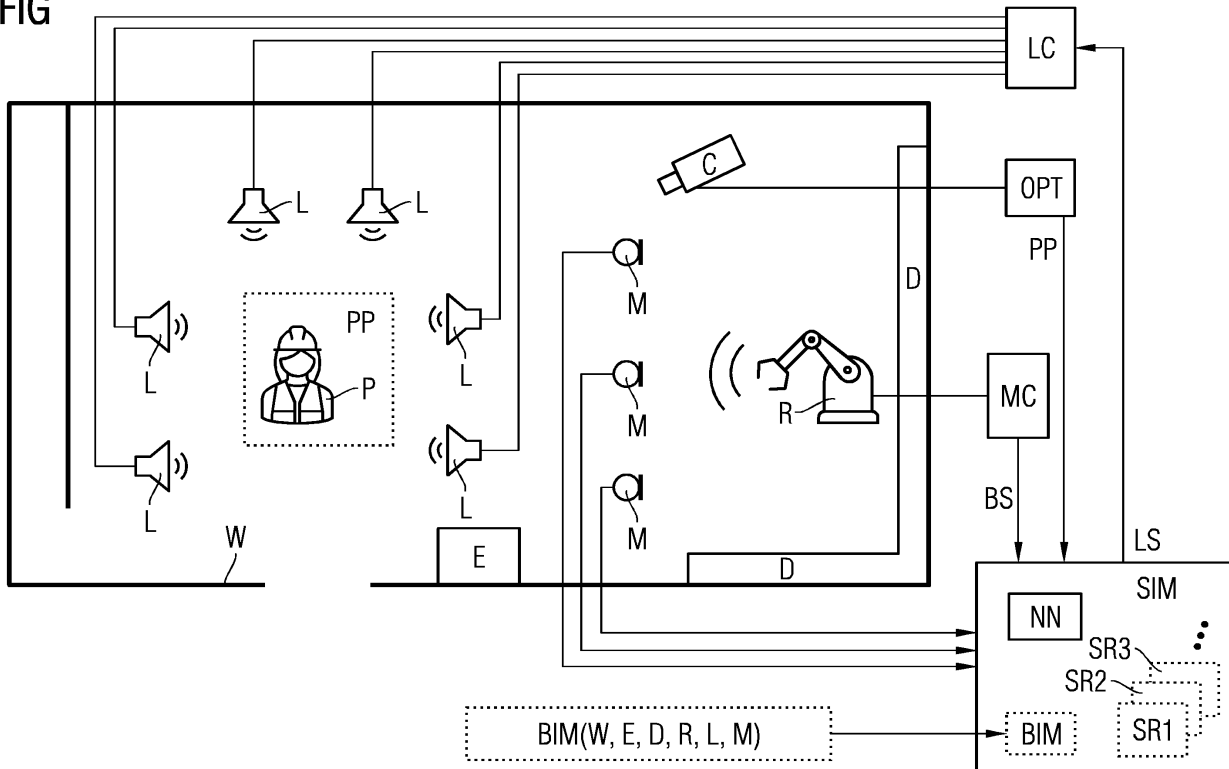
VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM LÄRMSCHUTZ IN EINER UMGEBUNG EINER ODER MEHRERER MASCHINEN

(57)

Zum Lärmschutz in einer Umgebung einer oder mehrerer Maschinen (R) wird in der Umgebung eine vor Lärm zu schützende Stelle (PP) bestimmt. Weiterhin werden Betriebssignale (BS) der mindestens einen Maschine (R) im laufenden Betrieb erfasst. Erfindungsgemäß werden anhand der erfassten Betriebssignale (BS) Bewegungen der mindestens einen Maschine (R) ermittelt sowie eine Ausbreitung eines durch die Bewegungen in-

duzierten Schalls simuliert. Abhängig von der Simulation werden weiterhin mehrere in der Umgebung verteilte Lautsprecher (L) derart angesteuert, dass der bewegungsinduzierte Schall durch einen von den Lautsprechern (L) erzeugten Gegenschall an der vor Lärm zu schützenden Stelle (PP) durch destruktive Interferenz reduziert wird.

FIG



Beschreibung

[0001] Lärmbelastung ist ein ernstzunehmendes Problem in vielen Arbeitsumgebungen oder Wohnumgebungen und kann neben einer Herabsetzung der Leistungsfähigkeit und Konzentration auch zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

[0002] Zur Verringerung der Lärmbelastung wird häufig versucht, den Lärm gar nicht erst entstehen zu lassen oder entstehenden Lärm durch Lärmdämmung zu dämpfen. Derartige Dämmungen wirken allerdings bevorzugt auf höherfrequente Lärmbeiträge, während niederfrequenter Lärm nur verhältnismäßig wenig gedämpft wird.

[0003] Darüber hinaus kann Lärm auch mittels aktiver Auslöschung durch destruktive Interferenz von Schallschwingungen reduziert werden. Ein bekanntes Beispiel sind sogenannte Noise-Cancelling-Kopfhörer, die manche Hintergrundgeräusche durch Gegenschall aktiv reduzieren können. Ein Einsatz derartiger Kopfhörer ist aber in vielen Arbeitsumgebungen und insbesondere an industriellen Arbeitsplätzen oft nicht sehr wirksam oder sogar störend. So sind plötzlich auftretende Maschinengeräusche nur schwer vorhersagbar und somit häufig nicht wirksam kompensierbar. Darüber hinaus erschwert das Tragen eines Kopfhörers die akustische Kommunikation, was insbesondere im industriellen Umfeld ein Sicherheitsrisiko darstellen kann.

[0004] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Anordnung anzugeben, die einen effektiveren Lärmschutz, insbesondere vor niederfrequenten Lärmbeiträgen erlauben.

[0005] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, durch eine Anordnung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 13, durch ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 sowie durch ein computerlesbares Speichermedium mit den Merkmalen des Patentanspruchs 15.

[0006] Zum Lärmschutz in einer Umgebung einer oder mehrerer Maschinen wird in der Umgebung eine vor Lärm zu schützende Stelle bestimmt. Weiterhin werden Betriebssignale der mindestens einen Maschine im laufenden Betrieb erfasst. Erfindungsgemäß werden anhand der erfassten Betriebssignale Bewegungen der mindestens einen Maschine ermittelt sowie eine Ausbreitung eines durch die Bewegungen induzierten Schalls simuliert. Als Bewegungen können insbesondere Vibrationen, Rotationen, Gehäuseschwingungen, Schlagbewegungen oder andere schallerzeugende Bewegungen der mindestens einen Maschine oder einer Komponente davon ermittelt werden. Weiterhin werden abhängig von der Simulation mehrere in der Umgebung verteilte Lautsprecher derart angesteuert, dass der bewegungsinduzierte Schall durch einen von den Lautsprechern erzeugten Gegenschall an der vor Lärm zu schützenden Stelle durch destruktive Interferenz reduziert wird.

[0007] Zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind eine Anordnung zum Lärmschutz in einer

Umgebung einer oder mehrerer Maschinen, ein Computerprogrammprodukt sowie ein computerlesbares, vorzugsweise nichtflüchtiges Speichermedium vorgesehen.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren, die erfindungsgemäße Anordnung sowie das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt können insbesondere mittels eines oder mehrerer Computer, eines oder mehrerer Prozessoren, anwendungsspezifischer integrierter Schaltungen (ASIC), digitaler Signalprozessoren (DSP), einer Cloud-Infrastruktur und/oder sogenannter "Field Programmable Gate Arrays" (FPGA) ausgeführt werden.

[0009] Ein Vorteil der Erfindung ist insbesondere darin zu sehen, dass zur Lärmreduzierung kein Tragen eines Noise-Cancelling-Kopfhörers oder eines Gehörschutzes erforderlich ist. Darüber hinaus ist die Erfindung insbesondere für niederfrequente Lärmbeträge wirksam, insofern deren interferenzbedingte Kompensation oft weniger Lautsprecher und/oder eine weniger zeitkritische Simulation erfordert und/oder eine Lärmreduktion in einem größeren Raumbereich erlaubt. Somit ergänzt die Erfindung in vorteilhafter Weise herkömmliche Schalldämmungsmaßnahmen, die bevorzugt auf höherfrequente Lärmbeiträge wirken. Darüber hinaus können in vielen Fällen auch nichtperiodische Lärmanteile effektiv kompensiert werden, insofern entsprechende Bewegungen der mindestens einen Maschine anhand der Betriebssignale ermittelt oder prädictiert werden können.

[0010] Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann eine Position einer Person, vorzugsweise eine Position ihres Kopfes in der Umgebung erfasst und als vor Lärm zu schützende Stelle bestimmt werden. Zu diesem Zweck können eine oder vorzugsweise mehrere Kameras vorgesehen sein, die Bilder in der Umgebung aufnehmen. Die aufgenommenen Bilder können dann durch bekannte optische Mustererkennungsverfahren ausgewertet werden, um die Person zu erkennen und ihre vorzugsweise räumliche Position zu ermitteln. Alternativ oder zusätzlich kann die Position der Person auch durch Detektion oder Lokalisierung eines von der Person getragenen RFID-Transponders erfasst werden.

[0012] Vorteilhafterweise kann die Position der Person fortlaufend erfasst werden, so dass die vor Lärm zu schützende Stelle der aktuell erfassten Position nachgeführt werden kann. Auf diese Weise kann auch für sich bewegend Personen eine Lärmreduktion erreicht werden.

[0013] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann eine Ausbreitung eines durch Bewegungen der mindestens einen Maschine induzierten Schalls sensorisch, z.B. durch in der Umgebung verteilte Mikrofone erfasst werden. Anhand der sensorisch erfassten Schallausbreitung sowie anhand von Betriebssignalen der mindestens einen Maschine kann ein Maschinenlernmodul, z.B. ein neuronales Netz darauf trainiert wer-

den, anhand der Betriebssignale die sensorisch erfasste Schallausbreitung zu reproduzieren. Die Simulation kann dann mittels des trainierten Maschinenlernmoduls ausgeführt werden. Zum Training des Maschinenlernmoduls kann eine Vielzahl bekannter Lernverfahren verwendet werden, insbesondere Verfahren des überwachten Lernens. Durch ein solches Maschinenlernmodul kann ein Zusammenhang zwischen Betriebssignalen der mindestens einen Maschine und einer davon abhängigen Ausbreitung von bewegungsinduziertem Schall in vielen Fällen hinreichend genau gelernt werden. Anhand des gelernten Zusammenhangs kann dann die Schallausbreitung in effizienter Weise simuliert werden, wobei in der Regel ein erheblich geringerer Rechenaufwand erforderlich ist als bei einer detaillierten physikalischen Simulation der Bewegungen der Maschine und/oder der Schallausbreitung.

[0014] Weiterhin kann der bewegungsinduzierte Schall und/oder der Gegenschall, insbesondere im laufenden Betrieb der mindestens einen Maschine sensorisch erfasst werden. Abhängig davon kann die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls und/oder eine Ausbreitung des Gegenschalls simuliert werden. Die Schallerfassung kann dabei z.B. durch mehrere in der Umgebung verteilte oder an der mindestens einen Maschine angebrachte Mikrofone, Beschleunigungssensoren oder andere Sensoren erfolgen. Der sensorisch erfasste Schall kann insbesondere dazu verwendet werden, die Simulation der Schallausbreitung zu kalibrieren, zu verfeinern, nachzubessern oder anderweitig anzupassen.

[0015] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann anhand der erfassten Betriebssignale ein zukünftiger schallerzeugender Bewegungsablauf der mindestens einen Maschine prädiziert werden. Infolge der Prädiktion kann dann eine Simulation einer durch den zukünftigen schallauslösenden Bewegungsablauf induzierten, ablaufspezifischen Schallausbreitung gestartet und/oder priorisiert werden. Auf diese Weise können Simulationen oder Berechnungen einer Schallausbreitung bereits gestartet werden, bevor der Schall tatsächlich entsteht, insbesondere sobald den Betriebssignalen entnehmbar ist, dass eine schallerzeugende Bewegung geplant ist. Sobald ein Zeitpunkt oder ein Zeitverlauf der schallerzeugenden Bewegung anhand der Betriebssignale hinreichend genau bestimmbar ist, z.B. wenn der Fehler klein gegenüber einer auftretenden akustischen Schwingungsperiode ist, kann ein Timing des destruktiv interferierenden Gegenschalls bestimmt werden.

[0016] Insbesondere kann der zukünftige schallerzeugende Bewegungsablauf anhand von in den Betriebssignalen enthaltenen Steuersignalen einer die mindestens eine Maschine steuernden Steuereinrichtung prädiziert werden. Anhand von Steuersignalen kann ein Verhalten von Maschinen in vielen Fällen über einen größeren Zeithorizont prädiziert werden als anhand von aktuellen Sensorsignalen. Dies gilt insbesondere für in den Steuersi-

gnalen enthaltene Planungsdaten zu zukünftig geplanten Steueraktionen. So können für eine jeweils geplante Steueraktion alle möglichen schallerzeugenden Bewegungsabläufe vorausberechnet und für die Simulation hinterlegt werden. Bei weitgehend deterministischen Bewegungsabläufen können die Ergebnisse in vielen Fällen direkt in der Simulation verwendet werden. Falls ein Bewegungsablauf von äußeren Einflüssen abhängig ist, beispielsweise von der Ankunftszeit von Material in einer Fertigungsanlage, kann ein Timing der Simulation durch die äußeren Einflüsse getriggert werden.

[0017] Durch die vorstehenden Maßnahmen steht mehr Zeit zur Ausführung einer jeweiligen Simulation zur Verfügung. Auf diese Weise können Anforderungen an eine Simulationsgeschwindigkeit in vielen Fällen erheblich reduziert werden.

[0018] Nach einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann für mehrere schallerzeugende Bewegungsabläufe der mindestens einen Maschine jeweils eine hierdurch induzierte, ablaufspezifische Schallausbreitung vorab simuliert und ein zugehöriges ablaufspezifisches Simulationsergebnis in Zuordnung zum betreffenden schallerzeugenden Bewegungsablauf gespeichert werden. Weiterhin kann anhand der erfassten Betriebssignale ein zukünftiger schallerzeugender Bewegungsablauf prädiziert werden, und es kann ein dem prädizierten schallerzeugenden Bewegungsablauf zugeordnetes ablaufspezifisches Simulationsergebnis selektiert werden. Damit kann die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls anhand des selektierten ablaufspezifischen Simulationsergebnisses simuliert werden. Auf diese Weise kann in vielen Fällen ein großer Teil des simulativen Rechenaufwands bereits vorab verrichtet werden.

[0019] Darüber hinaus können die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls, eine Ausbreitung des Gegenschalls und/oder die Bewegungen der mindestens einen Maschine zumindest teilweise in Echtzeit simuliert werden. Eine jeweilige Simulation kann dabei vorzugsweise als nebenläufige, d.h. im Betrieb der mindestens einen Maschine mitlaufende Simulation und insbesondere als digitaler Zwilling der mindestens einen Maschine oder einer ihrer Komponenten implementiert sein.

[0020] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann eine Ausbreitung des von den Lautsprechern erzeugten Gegenschalls vorab simuliert werden. Dabei kann für einen jeweils vorgegebenen Gegenschall-Amplitudenverlauf eine jeweilige Ansteuerung der Lautsprecher ermittelt werden, durch die an der vor dem Lärm zu schützenden Stelle der jeweilige Gegenschall-Amplitudenverlauf zumindest näherungsweise erzeugt wird. Insofern sich die von den Lautsprechern erzeugten Gegenschallwellen im Wesentlichen linear überlagern, kann zunächst für jeden einzelnen der Lautsprecher eine Ausbreitung des von diesem Lautsprecher erzeugten Gegenschalls separat simuliert werden. Vorzugsweise kann für jeden Lautsprecher eine zeitlich aufgelöste Impulsantwort insbesondere in einem Bereich um die vor

Lärm zu schützenden Stelle simulativ ermittelt werden. Durch lineare Kombination der Impulsantworten verschiedener Lautsprecher kann dann für einen jeweils vorgegebenen Gegenschall-Amplitudenverlauf eine jeweilige Ansteuerung der Lautsprecher ermittelt werden, die in einem räumlichen Bereich um die vor Lärm zu schützenden Stelle diesen Gegenschall-Amplitudenverlauf zumindest näherungsweise erzeugt. In der Regel kann dieser räumliche Bereich oder ein relevanter Frequenzbereich vergrößert werden, je mehr Lautsprecher verwendet werden.

[0021] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann die Umgebung ein Gebäude, ein Bereich des Gebäudes oder ein Raum des Gebäudes sein, und es kann ein digitales, insbesondere semantisches Gebäudemodell des Gebäudes oder des Raumes eingelesen werden. Die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls und/oder des Gegenschalls im Gebäude oder im Raum kann dann anhand des digitalen Gebäudemodells simuliert werden. Das digitale Gebäudemodell kann vorzugsweise ein sogenanntes BIM-Modell (BIM: Building Information Modeling) sein. Anhand von im digitalen Gebäudemodell hinterlegten Positionen und Orientierungen von Raumbegrenzungen oder Einrichtungsgegenständen, kann insbesondere phasengenaue berechnet werden, wie die sich ausbreitenden Schallwellen an den Raumbegrenzungen oder Einrichtungsgegenständen reflektiert, gebrochen oder gebeugt werden. Weiterhin können anhand von im Gebäudemodell hinterlegten Materialparametern von Raumbegrenzungen, Einrichtungsgegenständen oder Schalldämpfungsvorrichtungen eine Dämpfung oder eine Phasenverschiebung der dort auftreffenden Schallwellen und ein Einfluss der Dämpfung bzw. Phasenverschiebung auf die Schallausbreitung ermittelt werden.

[0022] Vorzugsweise kann durch das Gebäudemodell eine Position und/oder Orientierung

- der mindestens einen Maschine,
- der Lautsprecher,
- von Mikrofonen zur Erfassung des bewegungsinduzierten Schalls und/oder des Gegenschalls,
- eines Arbeitsplatzes,
- von Raumbegrenzungen des Raumes,
- von im Raum befindlichen Einrichtungsgegenständen und/oder
- von Schalldämpfungsvorrichtungen spezifiziert werden.

[0023] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann für unterschiedliche Positionen und/oder Anzahlen der Lautsprecher in der Umgebung jeweils eine interferenzbedingte Reduktion des bewegungsinduzierten Schalls simulativ ermittelt werden. Die Lautsprecher können dann derart positioniert werden, dass die interferenzbedingte Reduktion optimiert wird. Unter einem Optimieren sei insbesondere auch ein Annähern an ein Optimum verstanden.

[0024] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Die Figur zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung zum Lärmschutz in schematischer Darstellung.

[0025] In der Figur ist eine erfindungsgemäße Anordnung zum Lärmschutz in einer Umgebung einer lärmproduzierenden Maschine R schematisch dargestellt. In einem industriellen Arbeitsumfeld kann die Maschine R beispielsweise ein Roboter, ein Fertigungsroboter, eine Werkzeugmaschine, eine Turbine, eine Presse, eine Produktionsmaschine oder eine Komponente davon sein. In einem Wohn- oder Büroumfeld kann als Maschine R unter anderem eine Klimaanlage oder eine Heizung vorgesehen sein. Des Weiteren kann die Maschine R auch ein Kraftfahrzeug, ein Traktor, ein Schienenfahrzeug oder eine andere mobile, lärm erzeugende Maschine sein. Die Maschine R ist mit einer Maschinensteuerung MC zum Steuern der Maschine R gekoppelt. Die Maschinensteuerung MC kann auch ganz oder teilweise in die Maschine R integriert sein.

[0026] Für das vorliegende Ausführungsbeispiel sei angenommen, dass die Maschine R ein Fertigungsroboter ist, in dessen Umgebung sich ein oder mehrere industrielle Arbeitsplätze befinden. An dem oder den Arbeitsplätzen halte sich weiterhin eine vor Lärm zu schützende Person P auf.

[0027] Die Maschine R ist in einem Raum, z.B. in einer Fabrikhalle installiert, der von Wänden W und anderen Raumbegrenzungen wie Böden, Decken, Türen oder Fenstern begrenzt ist. Die Wände W sind in der Figur durch verdickte Linien veranschaulicht. Im Raum befinden sich Einrichtungsgegenstände E oder anderes Inventar. Weiterhin sei angenommen, dass Schalldämpfungsvorrichtungen D, z.B. Schaumstoffbeläge oder andere poröse Materialien an den Raumbegrenzungen oder an der Maschine R angebracht sind. Durch die Schalldämpfungsvorrichtungen D kann zumindest ein höherfrequenter Anteil des von der Maschine R ausgehenden Lärms reduziert werden.

[0028] Der Raum wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch ein digitales, semantisches Gebäudemodell BIM baulich spezifiziert. Das digitale Gebäudemodell BIM ist vorzugsweise als sogenanntes BIM-Modell (BIM: Building Information Modelling) ausgestaltet und beschreibt eine Geometrie des Raumes sowie eine Vielzahl von dessen Raum- und Gebäudeelementen in maschinenlesbarer Form.

[0029] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel spezifiziert und quantifiziert das digitale Gebäudemodell insbesondere eine Position und Orientierung der Wände W, der anderen Raumbegrenzungen, der Einrichtungsgegenstände E, der Schalldämpfungsvorrichtungen D sowie möglichst aller anderen eine Schallausbreitung im Raum signifikant beeinflussenden Gegenstände. Darüber hinaus sind im digitalen Gebäudemodell BIM auch schallausbreitungsrelevante Materialparameter von die Schallausbreitung beeinflussenden Gegenständen hinterlegt. Durch die Materialparameter kann insbesondere

eine Schallabsorption, Schallreflexion, Schallbrechung und/oder Phasenverschiebung quantifiziert werden.

[0030] Zusätzlich werden im digitalen Gebäudemodell BIM noch eine jeweilige Position des oder der Arbeitsplätze sowie Positionen und Orientierungen der Maschine R, von zur Erzeugung von Gegenschall vorgesehenen Lautsprechern L sowie von Mikrofonen M zur Erfassung des von der Maschine R erzeugten Schalls hinterlegt.

[0031] Im Raum befinden sich vorzugsweise mehrere Kameras C, die fortlaufend Bilder des oder der Arbeitsplätze aufnehmen. Die aufgenommenen Bilder werden von den Kameras C zu einer optischen Auswerteeinrichtung OPT zum Detektieren und Lokalisieren von Personen übermittelt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel werden durch die optische Auswerteeinrichtung OPT anhand der übermittelten Bilder spezifisch eine räumliche Position PP der Person P, vorzugsweise von deren Kopf und optional dessen Orientierung ermittelt. Zu diesem Zweck steht eine Vielzahl bekannter optischer Mustererkennungsverfahren zur Verfügung. Die ermittelte Position PP wird als vor Lärm zu schützende Stelle bestimmt.

[0032] Falls ein Aufenthaltsbereich der vor Lärm zu schützenden Person P hinreichend klein ist - insbesondere kleiner als ein durch Gegenschall vor Lärm schützbarer Bereich -, kann auf die spezifische Lokalisierung der Person P auch verzichtet werden. So kann bei einem Lärmschutz in einem Kfz als vor Lärm zu schützende Stelle insbesondere eine Kopfposition bei einem Kfz-Sitz vorgegeben werden.

[0033] Zur effektiven Lärmreduktion an der vor Lärm zu schützenden Stelle PP werden fortlaufend aktuelle Betriebssignale BS der im laufenden Betrieb befindlichen Maschine R durch die Maschinensteuerung MC erfasst. Die Betriebssignale BS umfassen vorzugsweise Steuerungssignale zum Steuern der Maschine R, Planungsdaten über zukünftig geplante Steueraktionen und/oder Sensordaten oder Messdaten der Maschine R.

[0034] Die erfassten Betriebssignale BS werden von der Maschinensteuerung MC zu einem Simulator SIM übermittelt. Der Simulator SIM ist computergesteuert und verfügt über einen oder mehrere Prozessoren zum Ausführen der erfindungsgemäßen Verfahrensschritte sowie über einen oder mehrere Speicher zum Speichern von zu verarbeitenden Daten.

[0035] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel verfügt der Simulator SIM weiterhin über eine erste Simulatorkomponente zum nebenläufigen Simulieren eines Verhaltens, insbesondere eines Bewegungsverhaltens der laufenden Maschine R. Die erste Simulatorkomponente ist vorzugsweise als sogenannter digitaler Zwilling der Maschine R implementiert.

[0036] Die Verhaltenssimulation basiert auf einem digitalen Modell der Maschine R und wird anhand der aktuellen Betriebssignale BS, insbesondere anhand von aktuellen Sensordaten fortlaufend an ein aktuell gemessenes oder anderweitig erfasstes Verhalten der Maschine R angepasst. Für derartige Simulationen steht ein

Vielzahl von bekannten Verfahren und digitalen Maschinenmodellen zur Verfügung, z.B. sog. finite-Elemente-Verfahren.

[0037] Die mitlaufende Verhaltenssimulation erlaubt es, im laufenden Betrieb der Maschine R auch deren Verhalten an Stellen zu ermitteln, an denen keine Sensordaten erfasst werden sowie ein zukünftiges Verhalten der Maschine R zu prädictieren. Auf diese Weise können mittels der ersten Simulatorkomponente schallerzeugende Bewegungen der Maschine R und/oder von Komponenten der Maschine R, beispielsweise Vibrationen, Rotationen, Schlagbewegungen, Eigenfrequenzen und/oder Schwingungen, insbesondere Gehäuseschwingungen phasengenau ermittelt oder prädictiert werden.

[0038] Anhand der ermittelten oder prädictierten Bewegungen der Maschine R wird eine Ausbreitung eines durch die Bewegungen induzierten Schalls in der Umgebung der Maschine R durch eine zweite Simulatorkomponente des Simulators SIM phasengenau simuliert. Die Simulation wird anhand des digitalen Gebäudemodells BIM ausgeführt, das zu diesem Zweck durch den Simulator SIM eingelesen wird. Wie oben schon angedeutet, enthält das digitale Gebäudemodell BIM die für die Schallausbreitung relevanten geometrischen Parameter und Materialparameter des Raumes, in dem sich die Maschine R befindet. Zur Simulation einer solchen Schallausbreitung stehen effiziente Verfahren und Simulationsbibliotheken zur Verfügung, beispielsweise das Simulationssystem Simcenter 3D Acoustics der Firma Siemens AG (<https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/simulation-test/acoustic-simulation.html>, abgerufen am 22. September 2022).

[0039] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel werden durch den Simulator SIM vorteilhafterweise auch in den Betriebssignalen BS enthaltene Steuerungssignale und Planungsdaten über zukünftig geplante Steueraktionen zur vorausschauenden Simulation von zukünftigen schallerzeugenden Bewegungsabläufen der Maschine R verwendet. Insbesondere wird eine jeweilige Simulation eines zukünftigen Bewegungsablaufs durch die erste Simulatorkomponente bereits gestartet, sobald aus den Betriebssignalen BS ableitbar ist, dass dieser Bewegungsablauf, ggf. in einem vorgegebenen Zeitintervall eintreten wird. Auf diese Weise kann der zukünftige Bewegungsablauf in vielen Fällen simulativ prädictiert werden, bevor er tatsächlich eintritt.

[0040] Analog dazu wird durch die zweite Simulatorkomponente eine phasengenaue Simulation einer durch den simulierten Bewegungsablauf induzierten Schallausbreitung im Raum gestartet, sobald der simulierte Bewegungsablauf ermittelt ist. Dabei ist insbesondere die jeweils vor Lärm zu schützende Stelle von Interesse. Zur Bestimmung dieser Stelle wird die aktuelle Position PP von der optischen Auswerteeinrichtung OPT zum Simulator übermittelt. Dementsprechend wird durch die zweite Simulatorkomponente insbesondere ein Amplitudenverlauf des bewegungsinduzierten Schalls an

der Stelle PP ermittelt.

[0041] Sobald ein tatsächlicher Zeitverlauf der prädi-
zierten Bewegung anhand der Betriebssignale BS pha-
sengenau bestimmbar ist, kann ein Timing des von den
Lautsprechern L zu erzeugenden Gegenschalls be-
stimmt werden.

[0042] Die Lautsprecher L sind an eine Lautsprecher-
steuerung LC gekoppelt, durch die die Lautsprecher L
zur Abgabe von Gegenschall mit lautsprecherindividuell
vorgebbarer Amplitude und Phase angeregt werden kön-
nen.

[0043] Die Ausbreitung des Gegenschalls wird vor-
zugsweise vorab durch die zweite Simulatorkomponente
simuliert. Dabei wird für einen jeweils vorgegebenen Ge-
genschall-Amplitudenverlauf eine jeweilige Ansteuerung
der Lautsprecher L ermittelt, durch die der jeweilige Ge-
genschall-Amplitudenverlauf an der vor Lärm zu schüt-
zenden Stelle PP, zumindest näherungsweise her-
vorgerufen wird.

[0044] Anhand des ermittelten Amplitudenverlaufs des
bewegungsinduzierten Schalls können die Lautsprecher
L durch die Lautsprechersteuerung LC derart angesteu-
ert werden, dass der von den Lautsprechern L abgege-
bene Gegenschall den bewegungsinduzierten Schall an
der vor Lärm zu schützenden Stelle PP durch destruktive
Amplitudeninterferenz zumindest näherungsweise kom-
pensiert.

[0045] Zu diesem Zweck übermittelt der Simulator SIM
ein Steuersignal LS zur Lautsprechersteuerung LC, die
die Lautsprecher L entsprechend ansteuert. In der Regel
vergrößert sich der räumliche Bereich um die Stelle PP,
in dem der bewegungsinduzierte Schall signifikant redu-
ziert werden kann, mit fallender Frequenz des bewe-
gungsinduzierten Schalls sowie mit steigender Anzahl
der Lautsprecher L. Höhere Frequenzanteile des bewe-
gungsinduzierten Schalls können dagegen effektiv mit
herkömmlichen Dämpfungsmaßnahmen, hier D, redu-
ziert werden.

[0046] Zur Verbesserung der Simulationen, insbeson-
dere der zweiten Simulatorkomponente sind im vorlie-
genden Ausführungsbeispiel Mikrofone M im Raum, vor-
zugsweise in der Nähe der Maschine R verteilt. Durch
die Mikrofone M wird jeweils der von der Maschine R
ausgesandte Schall phasengenau erfasst. Die erfassten
Schallamplituden und -Phasen werden von den Mikrofo-
nen M jeweils an den Simulator SIM signalisiert und bei
den Simulationen berücksichtigt.

[0047] Insbesondere werden die erfassten Schallamp-
lituden und Schallphasen mit den simulierten Schallamp-
lituden und -Phasen an der jeweiligen Position eines Mi-
krofons M verglichen. Die Simulation der Ausbreitung
des bewegungsinduzierten Schalls kann dann derart ad-
aptiert oder kalibriert werden, dass Abweichungen zwi-
schen den erfassten und den simulierten Schallamplitu-
den und -Phasen minimiert werden.

[0048] Zur effizienten Ausführung der Simulationen
wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel für mehrere
mögliche schallerzeugende Bewegungsabläufe der Ma-

schine R jeweils eine durch den jeweiligen Bewegungs-
ablauf hervorgerufene, bewegungsablaufspezifische
Schallausbreitung vorab simuliert. Dabei wird ein jewei-
liges bewegungsablaufspezifisches Simulationsergeb-
nis SR1 bzw. SR2, SR3, ... in Zuordnung zum jeweiligen
Bewegungsablauf gespeichert. Ein jeweiliges Simulati-
onsergebnis SR1, bzw. SR2, SR3, ... kann dabei insbe-
sondere einen bewegungsablaufspezifischen
Schallamplitudenverlauf an der Stelle PP quantifizieren.

[0049] Sobald anhand der aktuell erfassten Betriebs-
signale BS ein zukünftig eintretender Bewegungsablauf
prädiziert wird, prüft der Simulator SIM, ob ein mit dem
prädizierten Bewegungsablauf zumindest näherungs-
weise übereinstimmender Bewegungsablauf gespei-
chert ist. Sofern dies der Fall ist, wird das dem gespei-
cherten Bewegungsablauf zugeordnete Simulationser-
gebnis SR1 bzw. SR2, SR3, ... selektiert und zur Simu-
lation der Schallausbreitung verwendet. Auf diese Weise
kann in vielen Fällen ein großer Teil des simulativen Re-
chenaufwands bereits vorab verrichtet werden.

[0050] Alternativ oder zusätzlich kann der Simulator
SIM zur effizienten Ausführung der Simulationen über
ein Maschinenlernmodul NN, beispielsweise ein künstli-
ches neuronales Netz verfügen. Das Maschinenlernmo-
dul NN wird anhand der Betriebssignale BS sowie der
von den Mikrofonen M erfassten Schallamplituden und
-Phasen darauf trainiert, aus den Betriebssignalen BS
die Schallamplituden und -Phasen abzuleiten. Zum Trai-
ning kann eine Vielzahl bekannter Lernverfahren ver-
wendet werden, insbesondere Verfahren des überwachte-
ten Lernens. Im vorliegenden Fall dienen die Betriebssi-
gnale BS als Input-Variablen, häufig auch als Feature-
Vector bezeichnet, und die erfassten Schallamplituden
und -Phasen als Output-Variablen, häufig auch als La-
bels bezeichnet.

[0051] Durch das Maschinenlernmodul NN kann ein
Zusammenhang zwischen den Betriebssignalen BS und
einer Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls in
vielen Fällen hinreichend genau gelernt werden. Anhand
des gelernten Zusammenhangs kann dann die
Schallausbreitung mittels des trainierten Maschinenlern-
moduls NN in effizienter Weise simuliert werden. Insbe-
sondere erfüllt das trainierte Maschinenlernmodul NN
dann Funktionen beider Simulatorkomponenten.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Lärmschutz in einer Umgebung einer
oder mehrerer Maschinen (R), wobei

- a) eine vor Lärm zu schützende Stelle (PP) in
der Umgebung bestimmt wird,
- b) Betriebssignale (BS) der mindestens einen
Maschine (R) im laufenden Betrieb fortlaufend
erfasst werden,
- c) anhand der erfassten Betriebssignale (BS)
Bewegungen der mindestens einen Maschine

- (R) ermittelt sowie eine Ausbreitung eines durch die Bewegungen induzierten Schalls simuliert werden, und
d) mehrere in der Umgebung verteilte Lautsprecher (L) abhängig von der Simulation derart angesteuert werden, dass der bewegungsinduzierte Schall durch einen von den Lautsprechern (L) erzeugten Gegenschall an der vor Lärm zu schützenden Stelle (PP) durch destruktive Interferenz reduziert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** eine Position (PP) einer Person (P) in der Umgebung erfasst wird, und
dass die erfasste Position (PP) als vor Lärm zu schützende Stelle bestimmt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** eine Ausbreitung eines durch Bewegungen der mindestens einen Maschine (R) induzierten Schalls sensorisch erfasst wird,
dass ein Maschinenlernmodul (NN) anhand von Betriebssignalen (BS) der mindestens einen Maschine (R) sowie anhand der sensorisch erfassten Schallausbreitung darauf trainiert wird, anhand der Betriebssignale (BS) die sensorisch erfasste Schallausbreitung zu reproduzieren, und
dass die Simulation mittels des trainierten Maschinenlernmoduls (NN) ausgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** der bewegungsinduzierte Schall und/oder der Gegenschall sensorisch erfasst wird, und
dass abhängig davon die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls und/oder eine Ausbreitung des Gegenschalls simuliert wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** anhand der erfassten Betriebssignale (BS) ein zukünftiger schallerzeugender Bewegungsablauf der mindestens einen Maschine (R) präzidiert wird, und
dass infolge der Prädiktion eine Simulation einer durch den zukünftigen schallauslösenden Bewegungsablauf induzierten, ablaufspezifischen Schallausbreitung gestartet und/oder priorisiert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
- zeichnet**,
dass der zukünftige schallerzeugende Bewegungsablauf anhand von in den Betriebssignalen (BS) enthaltenen Steuersignalen einer die mindestens eine Maschine (R) steuernden Steuereinrichtung (MC) präzidiert wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** für mehrere schallerzeugende Bewegungsabläufe der mindestens einen Maschine (R) jeweils eine hierdurch induzierte, ablaufspezifische Schallausbreitung vorab simuliert und ein zugehöriges ablaufspezifisches Simulationsergebnis (SR1, SR2, SR3, ...) in Zuordnung zum betreffenden schallerzeugenden Bewegungsablauf gespeichert wird,
dass anhand der erfassten Betriebssignale ein zukünftiger schallerzeugender Bewegungsablauf präzidiert wird,
dass ein dem präzidierten schallerzeugenden Bewegungsablauf zugeordnetes ablaufspezifisches Simulationsergebnis (SR1, SR2, SR3, ...) selektiert wird, und
dass die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls anhand des selektierten ablaufspezifischen Simulationsergebnisses (SR1, SR2, SR3, ...) simuliert wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls, eine Ausbreitung des Gegenschalls und/oder die Bewegungen der mindestens einen Maschine (R) zumindest teilweise in Echtzeit simuliert werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** eine Ausbreitung des von den Lautsprechern (L) erzeugten Gegenschalls vorab simuliert wird, wobei für einen jeweils vorgegebenen Gegenschall-Amplitudenverlauf eine jeweilige Ansteuerung der Lautsprecher (L) ermittelt wird, durch die an der vor Lärm zu schützenden Stelle (PP) der jeweilige Gegenschall-Amplitudenverlauf zumindest näherungsweise erzeugt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass** die Umgebung ein Gebäude, ein Bereich des Gebäudes oder ein Raum des Gebäudes ist,
dass ein digitales Gebäudemodell (BIM) des Gebäudes oder des Raumes eingelesen wird, und

dass die Ausbreitung des bewegungsinduzierten Schalls und/oder des Gegenschalls im Gebäude oder im Raum anhand des digitalen Gebäudemodells (BIM) simuliert wird.

5

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch das Gebäudemodell (BIM) eine Position und/oder Orientierung

- der mindestens einen Maschine (R),
- der Lautsprecher (L),
- von Mikrofonen (M) zur Erfassung des bewegungsinduzierten Schalls und/oder des Gegenschalls,
- eines Arbeitsplatzes,
- von Raumbegrenzungen (W) des Raumes,
- von im Raum befindlichen Einrichtungsgegenständen (E) und/oder
- von Schalldämpfungsanordnungen (D)

10

15

20

spezifiziert wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für unterschiedliche Positionen der Lautsprecher (L) in der Umgebung jeweils eine interferenzbedingte Reduktion des bewegungsinduzierten Schalls simulativ ermittelt wird, und dass die Lautsprecher (L) derart positioniert werden, dass die interferenzbedingte Reduktion optimiert wird.

25

30

13. Anordnung zum Lärmschutz in einer Umgebung einer oder mehrerer Maschinen (R), mit Mitteln zum Ausführen der Schritte eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

35

14. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.

40

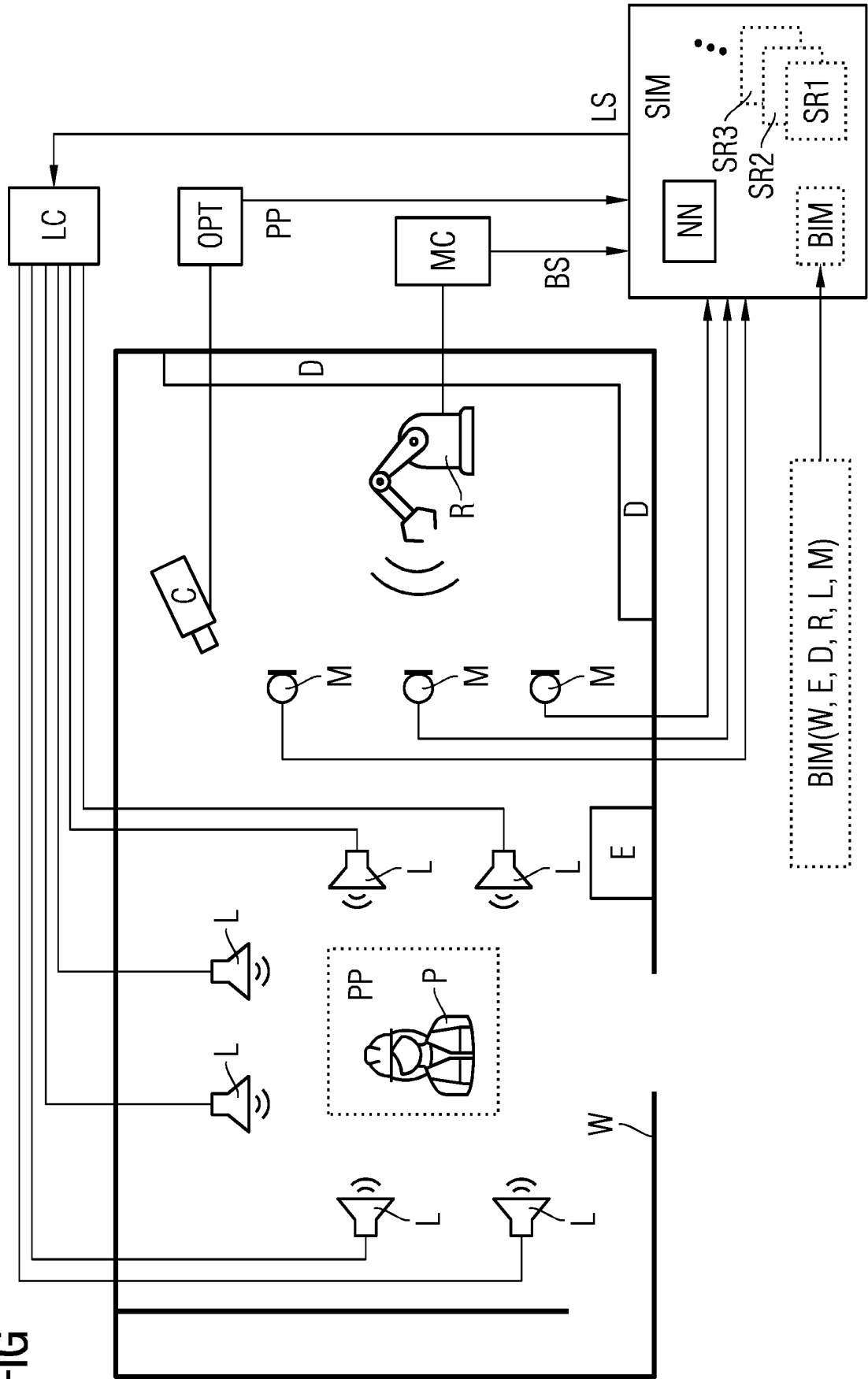
15. Computerlesbares Speichermedium mit einem gespeicherten Computerprogrammprodukt nach Anspruch 14.

45

50

55

FIG





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 19 7966

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

3

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 875 337 A1 (HITACHI RAIL LTD [GB]) 8. September 2021 (2021-09-08) * Absätze [0035], [0060]; Ansprüche 1, 3; Abbildung 1 *	1, 7-9, 11, 13-15	INV. G10K11/178
X	WO 2017/048464 A1 (AMAZON TECH INC [US]) 23. März 2017 (2017-03-23) * Absätze [0018], [0022], [0025], [0026], [0029], [0085]; Anspruch 1 *	1-7, 10, 11, 13-15	
X	US 5 805 714 A (KASAMA MINORU [JP] ET AL) 8. September 1998 (1998-09-08) * Zusammenfassung *	1, 13-15	
Y	* Spalte 12, Z. 15 ff; Abbildungen 6, 7 *	12	
Y	DE 42 15 910 C2 (RICOH KK [JP]) 19. Dezember 1996 (1996-12-19) * Spalte 5, Z. 2 ff *	12	
A	WO 2022/175535 A1 (VALEO SYSTEMES DESSUYAGE [FR]) 25. August 2022 (2022-08-25) * Absätze [0081], [0082]; Ansprüche 1, 5, 6, 7 *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) G10K G06N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. März 2023	Prüfer Pitzer, Hanna
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 19 7966

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

01-03-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3875337 A1	08-09-2021	EP 3875337 A1	08-09-2021
		GB 2593148 A	22-09-2021
WO 2017048464 A1	23-03-2017	CA 2998207 A1	23-03-2017
		EP 3350800 A1	25-07-2018
		JP 6704041 B2	03-06-2020
		JP 7033618 B2	10-03-2022
		JP 2018534188 A	22-11-2018
		JP 2020097416 A	25-06-2020
		US 9442496 B1	13-09-2016
		US 2017154618 A1	01-06-2017
		US 2018040316 A1	08-02-2018
		US 2018286372 A1	04-10-2018
		WO 2017048464 A1	23-03-2017
US 5805714 A	08-09-1998	JP 3039342 B2	08-05-2000
		JP H09138617 A	27-05-1997
		US 5805714 A	08-09-1998
DE 4215910 C2	19-12-1996	DE 4215910 A1	19-11-1992
		JP H05249983 A	28-09-1993
		US 5289147 A	22-02-1994
WO 2022175535 A1	25-08-2022	FR 3120151 A1	26-08-2022
		WO 2022175535 A1	25-08-2022

EPO FORM P0461

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