

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. Januar 2019 (24.01.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/014697 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 29/22 (2006.01) G01N 21/17 (2006.01)
G01N 29/24 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2018/060157

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Juli 2018 (20.07.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A50608/2017 20. Juli 2017 (20.07.2017) AT

(71) Anmelder: AVL LIST GMBH [—/AT]; Hans-List-Platz
1, 8020 Graz (AT).

(72) Erfinder: LANG, Benjamin; Schörgelgasse 66/22, 8010
Graz (AT). BERGMANN, Alexander; Josef Bayergasse
13A, 8052 Graz (AT).

(74) Anwalt: PATENTANWÄLTE TER SMITTEN EBER-
LEIN-VAN HOOF RÜTTEN PARTNERSCHAFTS-

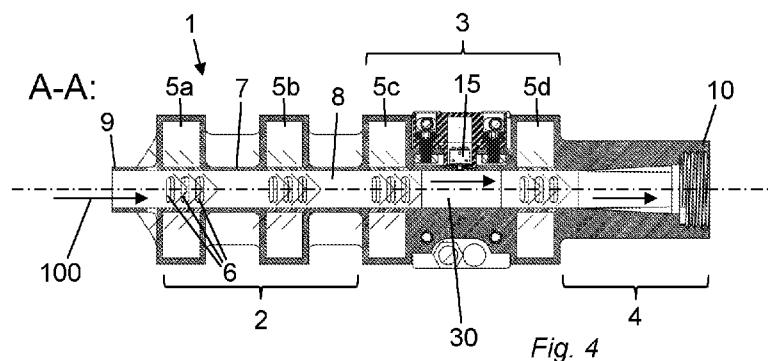
GESELLSCHAFT MBB; Burgunderstr. 29, 40549 Düs-
seldorf (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,

(54) Title: PHOTOACOUSTIC MEASURING DEVICE HAVING RESONATOR ELEMENTS

(54) Bezeichnung: PHOTOAKUSTISCHE MESSVORRICHTUNG MIT RESONATORELEMENTEN



(57) Abstract: The invention relates to a device (1) for photoacoustic measurement of the concentration of particles, in particular water in various physical states, in a measuring fluid, comprising a feed conduit section (2) for the measuring fluid, a measuring section (3) with a photoacoustic measuring cell (30) and a drainage conduit section (4) for the measuring fluid. In the region of the feed conduit section (2) and/or in the region of the drainage conduit section (4) at least one resonator element (5a, 5b, 5c, 5d) is provided which is concentric with the feed conduit section (2) and/or drainage conduit section (4) and which is fluidically connected to the feed conduit section (2) or the drainage conduit section (4) via at least one opening (6) in an outer wall (7) of the feed conduit section (2) and/or drainage conduit section (4).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur photoakustischen Messung der Konzentration von Partikeln, insbesondere Wasser in verschiedenen Aggregatzuständen, in einem Messfluid, mit einem Zuleitungskanalabschnitt (2) für das Messfluid, einen Messabschnitt (3) mit einer photoakustischen Messzelle (30) und einem Ableitungskanalabschnitt (4) für das Messfluid, wobei im Bereich des Zuleitungskanalabschnitts (2) und/oder im Bereich des Ableitungskanalabschnitts (4) zumindest ein zum Zuleitungs- (2) und/oder Ableitungskanalabschnitt (4) konzentrisches Resonatorelement (5a, 5b, 5c, 5d) vorgesehen ist, das mit dem Zuleitungs- (2) bzw. dem Ableitungskanalabschnitt (4) über zumindest eine Öffnung (6) in einer Außenwand (7) des Zuleitungs- (2) und/oder Ableitungskanalabschnitts (4) strömungsverbunden ist.

SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Photoakustische Messvorrichtung mit Resonatorelementen

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur photoakustischen Messung der Konzentration von Partikeln, insbesondere Wasser in verschiedenen Aggregatzuständen, in einem Messfluid, mit einem Zuleitungsabschnitt für das Messfluid, einer photoakustischen Messzelle und einem Ableitungsabschnitt für das Messfluid. Des Weiteren betrifft die Erfindung die Verwendung einer derartigen Vorrichtung für die Wasserkonzentrationsmessung in Brennstoffzellen- und/oder Elektrolyseanordnungen.

Fotoakustische Detektoren ermöglichen eine sehr empfindliche Messtechnik zur Bestimmung von zum Beispiel Spurengas- oder Aerosolkonzentrationen in einem Messfluid wie z.B. einem Trägergas. Eine häufige Anwendung ist die Messung der Konzentration von Feststoffpartikeln in gasförmigen Medien, z.B. für die Bestimmung der Rußmassenkonzentration in Fahrzeugabgasen. Dabei wird ein mit einer passend gewählten Betriebsfrequenz des Messsystems intermittierend modulierter oder gepulster Laserstrahl in eine Messzelle mit gasförmigem Messfluid gerichtet. Während der Strahlungsphasen absorbieren die vom Laserlicht bestrahlten Partikel im Messfluid das Laserlicht, wodurch diese und indirekt das die Partikel umgebende Messfluid erwärmt werden. Das führt zu periodischen Druckschwankungen im Gas der Messzelle, die sich als Schallwellen ausbreiten und folglich mit einem Mikrophon detektiert werden können. Das aufgenommene Mikrophonsignal ist proportional zur Partikelmassenkonzentration in der Messzelle und wird vorteilhafterweise zur Unterdrückung von Störgeräuschen und Signalrauschen synchron zur Betriebsfrequenz und mit angepasster Phasenverschiebung ausgewertet, beispielsweise mit einem Synchrongleichrichter.

Die Messzelle ist dabei bevorzugt als akustischer Resonator ausgeführt. Um die Resonanzüberhöhung des akustischen Signals zur Steigerung der Messempfindlichkeit nutzen zu können, wird die Modulations- bzw. Pulsfrequenz des Lasers auf eine Resonanzfrequenz (Eigenfrequenz) des Resonators abgestimmt, wofür im Allgemeinen die Grundschiwingung in axialer Richtung der Messzelle bevorzugt wird. Durch positive Interferenz der von den angeregten Feststoffpartikeln erzeugten akustischen Signale entsteht eine stehende akustische Welle in axialer Richtung des Resonators. An seinen axialen Begrenzungen treten Druckmaxima auf,

wenn die Begrenzung den Charakter eines „festen“ Abschlusses hat. Die in der Messzelle als Resonator eigentlich wirksame Resonatorzelle kann aber auch an den beiden Seiten durch akustische Sperrfilter (Notchfilter) in Form einer Kammer mit größerem Querschnitt begrenzt werden, wodurch die Resonatorzelle zu einem an beiden Seiten akustisch „offenen“ Resonator wird, der im Fall der Grundschiwingung ein Druckmaximum in der Mitte der Resonatorzelle aufweist. Bei einer solchen Anordnung sollte daher das den Schalldruck messende Mikrophon in der Mitte des Resonators angeordnet werden.

Eine derartige Anordnung ist beispielsweise in der EP 1 564 543 B1 der Anmelderin beschrieben.

Bei bestimmten Anwendungen kann es bei bekannten Lösungen zum Auftreten von Störgeräuschen kommen, die die Messergebnisse verfälschen. Dies wird aktuell verhindert, indem sehr geringe Durchflussraten des Messfluids durch die photoakustischen Vorrichtungen eingestellt werden, da sich dadurch die Störgeräusche reduzieren lassen. Allerdings stellt sich trotzdem noch das Problem des Einflusses von Umgebungsgeräuschen, die sich nachteilig auf die Messergebnisse auswirken können. Neben den dadurch bedingten langsamen Ansprech- und Detektionszeiten hat sich außerdem gezeigt, dass die bekannten Lösungen zur Messung von Wasseranteilen in verschiedenen Aggregatzuständen insbesondere in gasförmigen Messfluiden schlecht geeignet sind.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, die oben genannten Nachteile des Stands der Technik zu vermeiden und eine photoakustische Messung mit hohen Durchflussraten und guter Sensitivität für Partikel unterschiedlicher Art, insbesondere auch Wasser in fester, flüssiger und gasförmiger Form, zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch eine eingangs erwähnte Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass im Bereich des Zuleitungskanalabschnitt und/oder im Bereich des Ableitungskanalabschnitts zumindest ein zum Zuleitungs- und/oder Ableitungskanalabschnitt konzentrisches Resonatorelement vorgesehen ist, das mit dem Zuleitungskanalabschnitt über zumindest eine Öffnung in einer Außenwand des Zuleitungs- und/oder Ableitungskanalabschnitts strömungsverbunden ist.

Erfindungsgemäß wird damit eine höhere Messgenauigkeit ermöglicht, da die Resonatorelemente als akustische Bandpassfilter fungieren und störende Geräusche aus der Umgebung der Messvorrichtung, insbesondere im Frequenzbereich der photoakustischen Messung, unterdrücken. Diese Dämpfung kann insbesondere dadurch verbessert werden, dass im Zuleitungskanalabschnitt, also vor bzw. stromaufwärts der Messzelle, mehrere derartige Resonatorelemente vorgesehen sind. Günstigerweise ist außerdem im Ableitungskanalabschnitt, also stromabwärts der Messzelle, zumindest ein derartiges Resonatorelement vorgesehen.

Die Öffnungen zwischen Zuleitungs- und/oder Ableitungskanalabschnitt und den Resonatoren sind in der Außenwand der jeweiligen Kanalabschnitte ausgeführt und schlitzförmig ausgebildet, wobei vorzugsweise die Breite der Öffnung in Richtung normal zur Strömungsrichtung des Messfluids größer ist als die Länge der Öffnung in Richtung parallel zur Strömungsrichtung. Mit anderen Worten verläuft die Längserstreckung der schlitzförmigen Öffnungen normal zur Flussrichtung des Messfluids. In einer Variante der Erfindung ist die Längsachse der zumindest einen Öffnung unter einem spitzen Winkel, vorzugsweise zwischen 25° und 65° , besonders vorzugsweise 45° gegen die Längsachse des Zuleitungs- und/oder Ableitungskanalabschnitts geneigt. Die Öffnungen sind also gegen die Strömungsrichtung des Messfluids geneigt.

Diese Anordnung ermöglicht eine gerichtete Strömung durch Zuleitungs- und Ableitungskanalabschnitt und durch die Messzelle, wodurch das Ablösen der Strömung und gleichzeitig auftretende Turbulenzen, strömungsinduzierte Pulsationen und strömungsgeschwindigkeitsabhängige Widerstands- und Reaktionseffekte reduziert werden.

In einer Variante der Erfindung weisen dabei der Zuleitungs- und/oder der Ableitungskanalabschnitt einen viereckigen Querschnitt auf. Vorzugsweise sind je Resonatorelement zumindest drei Öffnungen vorgesehen, wobei in der viereckigen Konfiguration auf jeder der vier Querseiten des Zuleitungs- und/oder Ableitungskanalabschnitts je Resonatorelement zumindest eine, vorzugsweise drei Öffnungen angeordnet sind. Diese Öffnungen sind dabei jeweils in Strömungsrichtung des Messfluids hintereinander angeordnet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht aufgrund ihrer Merkmale die Konzentrationsmessung insbesondere von Wasser in verschiedenen Aggregatzuständen – gasförmig, flüssig und fest in Form von Eis – bei für photoakustische Messungen hohen Flussraten. Während üblicherweise nur etwa 1 bis 1,5l/min bewältigt werden können, erlaubt die erfindungsgemäße Vorrichtung Flussraten von bis zu 25l/min.

Erfindungsgemäß wird bei einer Vorrichtung zur photoakustischen Messung eine effektive Dämpfung von störenden Umgebungsgeräuschen durch akustische Filter – die Resonatorelemente – in Kombination mit der Perforierung der Außenwand der Kanalabschnitte mittels schlitzförmiger Öffnungen im Bereich des Übertritts zu den Resonatorelementen erreicht. Dadurch wird das Strömungsfeld des Messfluids und der darin enthaltenen Partikel (z.B. Wasser in verschiedenen Aggregatzuständen) minimal gestört und strömungsinduzierte Pulsationen und strömungsgeschwindigkeitsabhängige negative Effekte reduziert. Ebenfalls können die zu messenden Partikel ungestört zur Messzelle transportiert werden und es können hohe Durchflussraten und kurze Reaktionszeiten realisiert werden aufgrund der kurzen Distanzen zwischen Zuleitung und Messabschnitt. Eine Verwendung der Erfindung ist beispielsweise bei kühlenden bzw. vereisenden Windkanalanordnungen günstig, um Wassergehaltmessungen vorzunehmen. Eine weitere vorteilhafte Verwendung ergibt sich bei Brennstoffzellen- bzw. Elektrolyseuranordnungen, wo die Wasserkonzentrationen überwacht werden.

Die Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand der nicht einschränkenden Ausführungsbeispiele, die in den Figuren dargestellt sind, näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 eine erste Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 eine Längsansicht auf eine erfindungsgemäße Vorrichtung;

Fig. 3 eine zweite Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 4 eine Schnittansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung entlang einer Linie A-A in Fig. 1;

Fig. 5 eine Detailansicht aus der Schnittdarstellung in Fig. 4;

Fig. 6 eine perspektivische, teiltransparente Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung; und

Fig. 7 eine schematische Ansicht eines Messaufbaus unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

In den nachfolgenden Figuren sind aus Gründen der Übersichtlichkeit gleichartige Elemente mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. Messvorrichtung 1 gemäß den Figuren 1 bis 6 weist einen Hauptkanal 8 auf, in dem das Messfluid von einem Einlass 9 zu einem Messabschnitt 3 und weiter zu einem Auslass 10 geleitet wird. Dazu wird eine an den Auslass 10 angeschlossene Pumpenvorrichtung 11 verwendet, die für eine konstante Strömung durch die Vorrichtung 1, insbesondere den Messabschnitt 3, sorgt.

Fig. 7 zeigt schematisch die Ansicht eines beispielhaften Aufbaus zur Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dabei ist die Ausführung der Messzelle 30 dargestellt, wo eine die Messzelle 30 bzw. den diese durchdringenden Hauptkanal 8 durchstrahlende Lichtquelle 13 – üblicherweise ein amplitudenmodulierter Laser, z.B. mit $\lambda=402\text{nm}$, $P_{\text{Peak}}=20\text{mW}$ –, gegebenenfalls mit Strahlungsfalle 14, sowie ein Mikrophon 15 – beispielsweise Elektretmikrophone mit maximaler Sensitivität bei $4,7\text{kHz}$ – zum Aufzeichnen der angeregten Schallwellen vorgesehen sind. Die Lichtquelle 13 ist dabei üblicherweise außerhalb der Messzelle 30 angeordnet und strahlt über Fensterelemente 17 in diese hinein. Dabei können Desorptionsraten erhöht werden, wenn die Fensterelemente 17 geheizt ausgeführt sind.

Nach dem Einlass 9 ist der Zuleitungskanalabschnitt 2 vorgesehen, an den die Messzelle 30 anschließt, von der der Ableitungskanalabschnitt 4 – z.B. in Strömungsrichtung 100 konisch auseinanderlaufend – zum Auslass 10 führt. In Fig. 4 ist zu erkennen, dass am Auslass 10 ein Gewinde für die Aufnahme von nachfolgenden Rohr- bzw. Schlauchleitungen ausgeführt ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel weisen der Hauptkanal 8, insbesondere der Zuleitungs- 2 und der Ableitungskanalabschnitt 4, einen viereckigen Querschnitt (siehe Fig. 2) auf, der z.B. quadratisch mit Seitenlängen von je 1cm ausgebildet sein kann.

Akustisch kurze konzentrische Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d werden als akustische Bandpassfilter verwendet, um Umgebungsgeräusche auf der Frequenz

der photoakustischen Messung zu unterdrücken bzw. zu dämpfen. Um eine Beeinflussung der Messung durch Geräusche der Pumpenvorrichtung 11 zu verhindern ist diese durch ein Schalldämpferelement 12 akustisch vom Rest der Vorrichtung 1 getrennt (siehe z.B. Fig. 7).

Zwei der besagten Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d sind Teil des Messabschnitts 3 während weitere Resonatorelemente als Dämpfungsresonatorelemente (in den Figuren insbesondere die Resonatorelemente 5a, 5b) im Bereich des Zuleitungskanalabschnitts 2 vorgesehen sind, wobei die Abstände zwischen den Resonatorelementen 5a, 5b, 5c optimiert sind um eine maximale Dämpfung zu erzielen.

Ein Resonatorelement ist als Verstärkerresonatorelement (Resonatorelement 5c) in einem gewissen Abstand von den Dämpfungsresonatorelementen 5b, 5c angeordnet, so dass sich ein Resonator zwischen dem Verstärkerresonatorelement 5c und dem in Flussrichtung gesehen letzten Resonatorelement stromabwärts der Messzelle 30 (hier Resonatorelement 5d) ergibt.

Günstigerweise beträgt der Abstand zwischen den stromaufwärts der Messzelle 30 angeordneten Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, insbesondere zwischen ihren einander zugewandeten Innenwänden, etwa $\lambda/4$. Dadurch können zusätzlich Auslöschungen störender Schallwellen im Kanalinneren erzielt werden.

Dadurch ergibt sich im Hauptkanal 8 ein akustischer Resonator bzw. eine Resonanz, der bzw. die zur optimalen Verstärkung des photoakustischen Signals verwendet wird das sich innerhalb dieses Resonatorabschnitts, der dem Messabschnitt 3 und im Wesentlichen dem Bereich der Messzelle 30 entspricht, auf der Frequenz der maximalen Dämpfung durch diese filternden Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d ergibt. Die Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d sind im dargestellten Ausführungsbeispiel als zylinderförmige, hohle Elemente ausgeführt, die konzentrisch zum Hauptkanal 8 angeordnet und mit diesem über Öffnungen 6 verbunden sind, wobei auch andere Formen möglich sind. Dabei sind Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d sowohl vor der Messzelle 30 als auch danach vorgesehen. Dadurch wird insbesondere das Ausbilden der für die Messung benötigten stehenden Welle mit Maximum im Bereich der Messzelle 30 sichergestellt.

Bei den Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d handelt es sich im dargestellten Ausführungsbeispiel um radialsymmetrische, akustisch kurze Resonatoren. Die Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d haben dabei eine zylindrische Form mit kreisförmiger oder polygonaler Grundfläche. Die Grundfläche ist dabei normal zur Strömungsrichtung im Hauptkanal 8 angeordnet. Akustisch kurz bezieht sich im Rahmen der vorliegenden Offenbarung auf die axiale Ausdehnung l_R der radialsymmetrischen Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d und bedeutet, dass diese weit kürzer ist als die akustische Wellenlänge, insbesondere der Resonanzfrequenz.

Die Radien der Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d bzw. der kreisförmigen/polygonalen Grundfläche sind dabei so gewählt, dass bei der gewählten Resonanzfrequenz der photoakustischen Zelle maximale Reflexion der (planaren) akustischen Wellen im Hauptkanal 8 an den Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d auftritt. Hierdurch wird einerseits unerwünschter, von außerhalb der Messvorrichtung 1 eindringender Lärm bei der Resonanzfrequenz maximal zurück nach außen reflektiert und andererseits der im Anregungsbereich des (photoakustischen) Resonators photoakustisch erzeugte Schall phasenrichtig, d.h. resonant, in diesen zurückreflektiert.

Die Bedingung für maximale Reflexion (Antiresonanz) für einen akustisch kurzen Zylinder ist näherungsweise durch die Nullstellen der Funktion

$$\frac{2Y_0(kr_0)J_1(kr_1) - 2J_0(kr_0)Y_1(kr_1)}{(2Y_0(kr_0) + Y_1(kr_0))J_1(kr_1) - (2J_0(kr_0) + J_1(kr_0))Y_1(kr_1)} \quad (1)$$

gegeben. Hierin sind J_ν und Y_ν Bessel-Funktionen erster und zweiter Gattung der Ordnung ν . r_1 ist der äußere Radius des Zylinders. r_0 ist der (äquivalente) Radius der axial zentrierten Anschlüsse (hier der Hauptkanal). $k = 2\pi/\lambda$ ist der Betrag des akustischen Wellenvektors.

Zwischen den Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d und den Kanalabschnitten 2, 4 befinden sich die Außenwände 8 der Kanalabschnitte, die dünn und perforiert ausgeführt sind. Die Perforation ist dabei durch schlitzförmige Öffnungen 6 gebildet, deren größte Längserstreckung normal zur Strömungsrichtung 100 des Messfluids verläuft. Die akustische Inertanz der schlitzförmigen Öffnungen 6 wirkt dabei verzögernd auf den Schall, wodurch der äußere Radius der radialsymmetrischen Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d dementsprechend kleiner gewählt werden muss.

Zusätzlich sind die Öffnungen 6 (siehe insbesondere Fig. 4, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit nur drei Öffnungen mit dem Bezugszeichen „6“ bezeichnet sind; die nachfolgenden Erläuterungen gelten für alle dargestellten Öffnungen 6) entgegen der Strömungsrichtung 100 des Messfluids geneigt ausgeführt. Dadurch lässt sich bei gegebener Resonanzfrequenz und effektiver Länge l_{eff} der schlitzförmigen Öffnungen bzw. Schlitze 6 eine möglichst große Unabhängigkeit der akustischen Charakteristik des Resonators von der Strömungsgeschwindigkeit erreichen. Das bedeutet mit anderen Worten, dass die Öffnungen 6 von außen nach innen durch die Außenwand 8 der Kanalabschnitte 2, 4 hinsichtlich der Strömungsrichtung 100 des Messfluids in einem spitzen Winkel α geneigt sind. Grundsätzlich kann der Winkel α zwischen 0° und 90° betragen, liegt aber vorteilhaft in einem Bereich zwischen 25° und 65° , vorzugsweise bei 45° . Fig. 5 zeigt einen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 gemäß Schnittdarstellung in Fig. 4, wo beispielhaft anhand einer Öffnung 6 der Verlauf des Winkels α dargestellt ist. Dieser Verlauf gilt auch für die anderen Öffnungen 6 im dargestellten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1. Durch die geneigte Ausführung der Öffnungen 6 hinsichtlich der Strömungsrichtung 100 ist es möglich, Turbulenzen und Strömungsabrisse zu reduzieren, die die Messung störende Geräuschquellen darstellen würden. Insbesondere kann der akustische Widerstand (Verluste bzw. Dämpfung des photoakustischen Schalls, wenn positiv, und unerwünschte Schallerzeugung, wenn negativ), als auch die Reaktanz (Verzögerung des photoakustischen Schalls, welche zu einer Resonanzfrequenzverschiebung des Resonators führen würde) über weite Bereiche der Strömungsgeschwindigkeit konstant und minimal gehalten werden. Als effektive Länge l_{eff} der Schlitze 6 wird dabei die Erstreckung in einer Richtung parallel zur Strömungsrichtung 100 des Messfluids betrachtet. In einer vorteilhaften Ausführung beträgt die effektive Länge l_{eff} der Schlitze 6 das doppelte der Dicke der Außenwand des Hauptkanals 8.

Eine vorteilhafte Reduktion von geräuscherzeugender Turbulenzen und Strömungsabrisse kann verhindert werden, wenn die Auswahl der effektive Länge l_{eff} der Schlitze 6 anhand dem Kriterium der Strouhal-Zahl erfolgt. Da die Strouhal-Zahl direkt proportional zur effektiven Länge l_{eff} der schlitzförmigen Öffnung 6 ist, erzielt eine Verkürzung der Schlitze 6 in Strömungsrichtung 100 um einen gewissen Faktor nun den zusätzlichen Effekt, dass bei Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit die Änderung der Strouhal-Zahl ebenfalls um diesen Faktor sinkt. Hierdurch kann die

Abhängigkeit der akustischen Charakteristik (Widerstand und Reaktanz) von der Strömungsgeschwindigkeit zusätzlich eingeschränkt bzw. minimiert werden.

Je größer die effektive Länge l_{eff} ist, desto höher ist die Strouhal-Zahl, allerdings kann es dann auch zur Ablagerung von Partikeln, Wasser, etc. in den Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d kommen. Zusätzlich ergibt sich bei kleinerer effektiver Länge l_{eff} geringere Abhängigkeit der Strouhal-Zahl von der Strömungsgeschwindigkeit.

Insbesondere in Fig. 6 ist erkennbar, dass je Resonatorelement 5a, 5b, 5c, 5d auf jeder der vier Querseiten je drei Öffnungen 6 ausgeführt sind, die in Strömungsrichtung 100 nacheinander angeordnet sind.

Durch die Verwendung von perforierten Kanalabschnittswänden 7, indem also in den Wänden des Zuleitungs- 2 und Ableitungskanalabschnitts 4 schlitzförmige, geneigte Öffnungen 6 als Übergang zu umgebenden Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d ausgeführt sind, werden photoakustische Messungen eines Analyten in einem Messfluid bei ungewöhnlich hohen Flussraten von bis zu 25l/min ermöglicht.

Genauer gesagt werden perforierte Kanalabschnittswände 7, also Wände mit geneigten schlitzförmigen Öffnungen 6, zwischen dem das Messfluid beinhaltenden Kanal und akustischen Filtern in Form von Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d bzw. anderen Verbindungs- und Kreuzungspunkten entlang des Fluidpfads durch die Messvorrichtung 1 vorgesehen. Die schlitzförmigen Öffnungen 6 sind entgegen der Strömungsrichtung 100 des Messfluids geneigt. Diese Ausführung erlaubt eine gelenkte Strömung des Messfluids durch den Hauptkanal 8 (also den Zuleitungs- 2 und Ableitungskanalabschnitt 4 und die dazwischen angeordnete photoakustische Messzelle 30), wobei ein Ablösen der Strömung, das Auftreten von begleitenden Turbulenzen, strömungsinduzierte Pulsationen und geschwindigkeitsabhängige akustische Widerstands- und Reaktionseffekte reduziert werden. Die Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 reduziert auch das Auftreten von Strömungslärm, also sich durch die hohen Flussgeschwindigkeiten ergebende akustische Störungsgeräusche der Messung.

Die Vorrichtung 1 erlaubt die möglichst störungsfreie Partikelmessung, insbesondere auch von „Hydrometeoren“, also Flüssigkeits-, insbesondere Wassertröpfchen bzw. Eispartikeln mit Durchmessern von wenigen bis zu einigen hundert Mikrometern. Die Partikel durchqueren dabei idealerweise dem Messbereich 3, ohne dass es zu

Wechselwirkungen mit den Kanalwänden 7 des umgebenden Hauptkanals 8 bzw. dessen Kanalabschnitten 2, 4 kommt. Damit ist eine Messung und Unterscheidung der Konzentrationen der verschiedenen Aggregatzustände möglich. Dazu können in der Messzelle 30 mehrere Laserquellen 13 mit unterschiedlichen Wellenlängen vorgesehen werden, um von den individuellen Absorptionsquerschnitten der drei Aggregatzustände bei unterschiedlichen Wellenlängen zu profitieren.

Dabei ist sowohl eine „in-situ“-Messung in Fluidströmen möglich, das gegenüber einem extraktiven Sampling, wo also über eine Entnahmevorrichtung ein Teil- oder Gesamtstrom entnommen wird, eine geringere Ansprechzeit und Adsorptions- bzw. Wechselwirkungslänge erlaubt. Fig. 7 zeigt beispielhaft ein Element 16, das entweder eine oben beschriebene Entnahmevorrichtung sein kann, die in eine Fluidleitung – z.B. ein Abgasrohr eines Verbrennungsmotors oder ein Zu- oder Ableitungsrohr zu einer Brennstoffzelle oder einem Elektrolyseur – hineinragt oder unmittelbar eine derartige Fluidleitung darstellt. Gegebenenfalls kann vor der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 bzw. deren Messzelle 30 auch eine Konditioniereinrichtung vorgesehen sein, um das Messfluid zu konditionieren (z.B. Temperatur, Wassergehalt oder Anteil an anderen Reagenten).

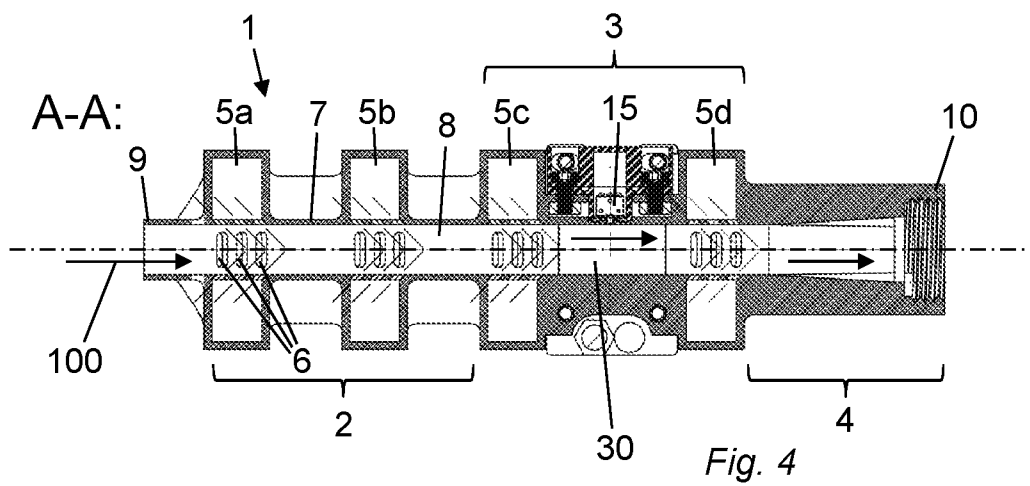
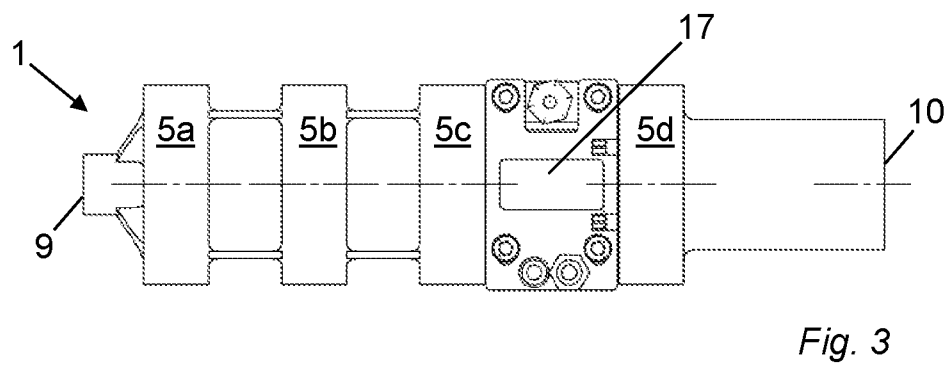
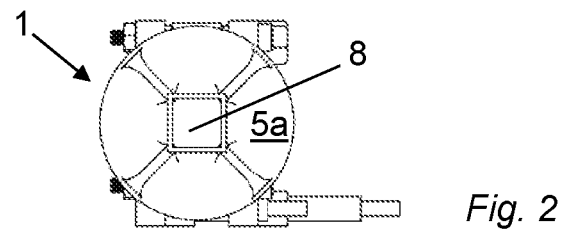
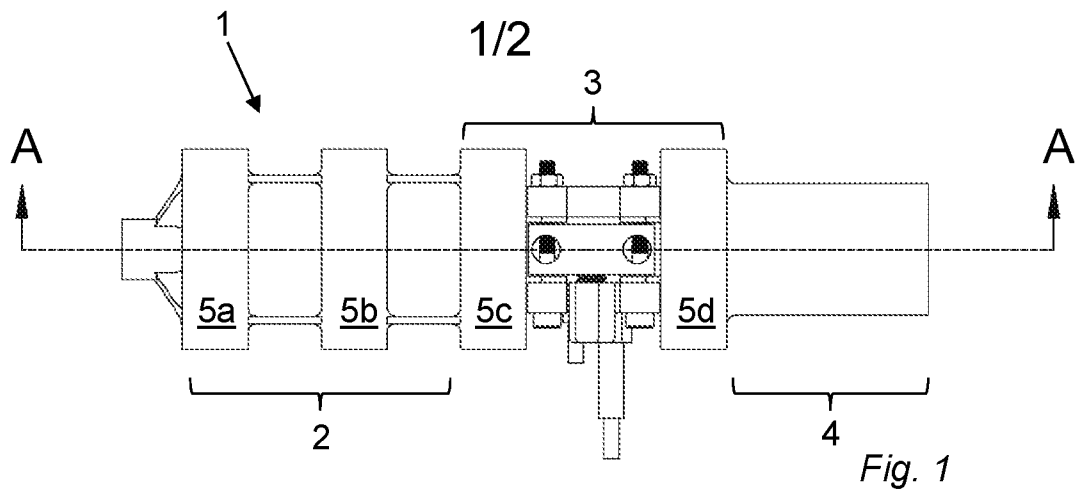
Erfindungsgemäß sind also an dem Hauptkanal 8 radialsymmetrische, akustisch kurze Resonatorelementen 5a, 5b, 5c, 5d vorgesehen, die über schlitzförmige Öffnungen 6 in den Kanalabschnittswänden 7 mit dem Hauptkanal 8 verbunden sind. Die schlitzförmigen Öffnungen 6 sind dabei normal zur Strömungsrichtung 100 im Hauptkanal 8 orientiert, ihre Erstreckung parallel zur Strömungsrichtung 100 ist also deutlich geringer als ihre Erstreckung normal dazu. Die effektive Länge l_{eff} der schlitzförmigen Öffnungen 6 ist dabei deutlich geringer gewählt als die axiale Ausdehnung l_R der radialsymmetrischen Resonatorelemente 5a, 5b, 5c, 5d. Dadurch können geometrische Quellen für Strömungsgeräusche reduziert werden. Zusätzlich sind die Öffnungen 6 entgegen der Strömungsrichtung 100 des Messfluids geneigt ausgeführt.

Ansprüche

1. Vorrichtung (1) zur photoakustischen Messung der Konzentration von Partikeln, insbesondere Wasser in verschiedenen Aggregatzuständen, in einem Messfluid, mit einem Zuleitungskanalabschnitt (2) für das Messfluid, einen Messabschnitt (3) mit einer photoakustischen Messzelle (30) und einem Ableitungskanalabschnitt (4) für das Messfluid, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich des Zuleitungskanalabschnitts (2) und/oder im Bereich des Ableitungskanalabschnitts (4) zumindest ein zum Zuleitungs- (2) und/oder Ableitungskanalabschnitt (4) konzentrisches Resonatorelement (5a, 5b, 5c, 5d) vorgesehen ist, das mit dem Zuleitungs- (2) bzw. dem Ableitungskanalabschnitt (4) über zumindest eine Öffnung (6) in einer Außenwand (7) des Zuleitungs- (2) und/oder Ableitungskanalabschnitts (4) strömungsverbunden ist.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Öffnung (6) schlitzförmig ausgebildet ist, wobei vorzugsweise die Breite der Öffnung (6) in Richtung normal zur Strömungsrichtung (100) des Messfluids größer ist als die Länge der Öffnung (6) in Richtung parallel zur Strömungsrichtung (100).
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Längsachse (60) der zumindest einen Öffnung (6) unter einem spitzen Winkel (α), vorzugsweise zwischen 25° und 65° gegen die Längsachse (200) des Zuleitungs- (2) und/oder Ableitungskanalabschnitts (4) geneigt ist.
4. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zuleitungs- (2) und/oder Ableitungskanalabschnitt (4) einen viereckigen Querschnitt aufweisen.
5. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** je Resonatorelement (5a, 5b, 5c, 5d) zumindest drei Öffnungen (6) vorgesehen sind.
6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf jeder der vier Querseiten des Zuleitungs- (2) und/oder

Ableitungskanalabschnitts (4) je Resonatorelement (5a, 5b, 5c, 5d) zumindest eine, vorzugsweise drei Öffnungen (6) angeordnet sind.

7. Verwendung einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Wasserkonzentrationsmessung in Brennstoffzellen- und/oder Elektrolyseuranordnungen .



2/2

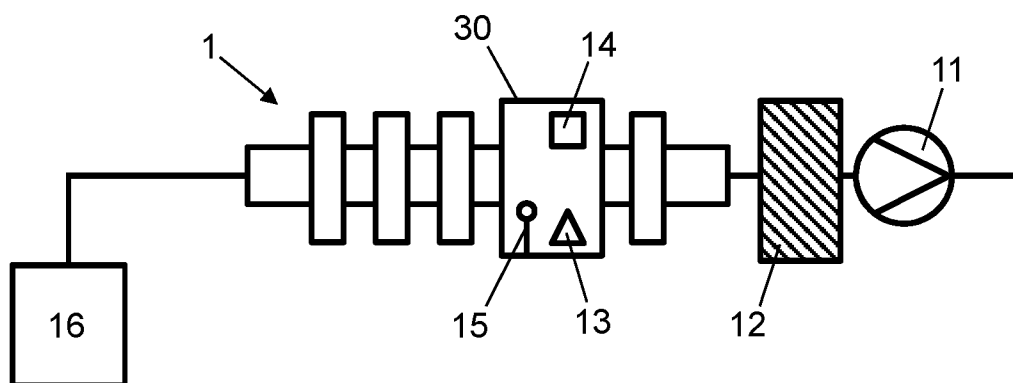
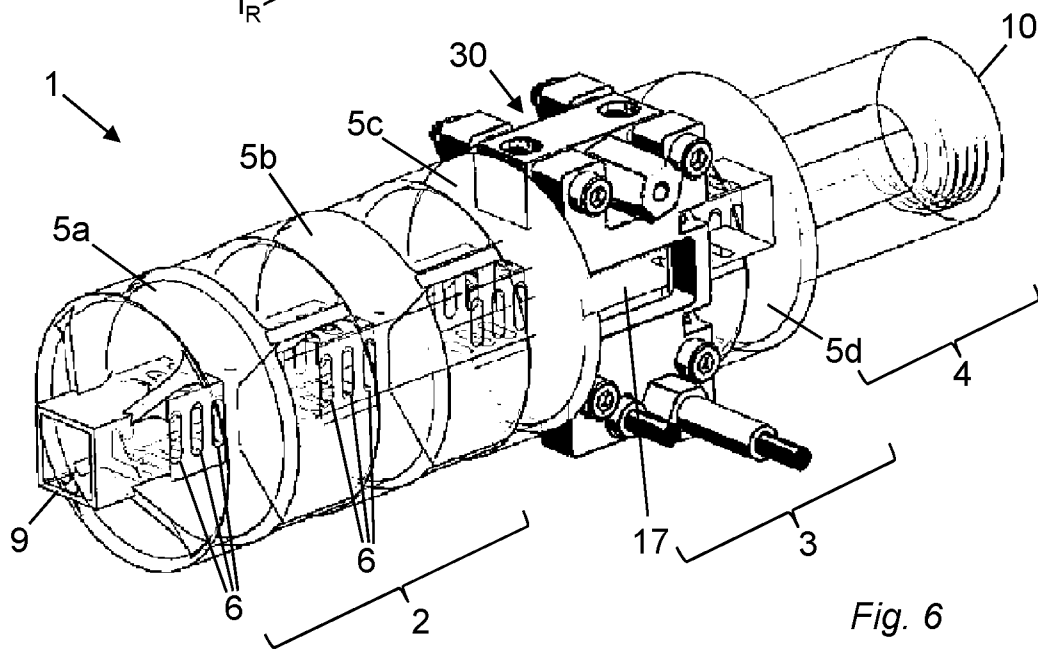
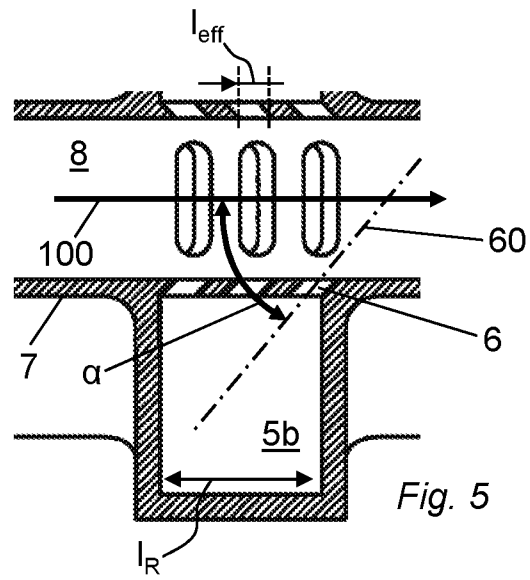


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/AT2018/060157

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*G01N 29/22*(2006.01)i; *G01N 29/24*(2006.01)i; *G01N 21/17*(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005160791 A1 (KUNG ANDY [TW]) 28 July 2005 (2005-07-28) abstract paragraph [0055] - paragraph [0056] figure 2	1-7
X	CN 101949821 A (UNIV CHONGQING) 19 January 2011 (2011-01-19) the whole document	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 September 2018

Date of mailing of the international search report

11 October 2018

Name and mailing address of the ISA/EP

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

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

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

Authorized officer

Rouault, Patrick

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/AT2018/060157

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2005160791	A1	28 July 2005	TW	I265288	B	01 November 2006
				US	2005160791	A1	28 July 2005
CN	101949821	A	19 January 2011	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01N29/22 G01N29/24 G01N21/17
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01N

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

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

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/160791 A1 (KUNG ANDY [TW]) 28. Juli 2005 (2005-07-28) Zusammenfassung Absatz [0055] - Absatz [0056] Abbildung 2	1-7
X	----- CN 101 949 821 A (UNIV CHONGQING) 19. Januar 2011 (2011-01-19) das ganze Dokument -----	1-7



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. September 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/10/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Rouault, Patrick

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2018/060157

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005160791 A1	28-07-2005	TW I265288 B US 2005160791 A1	01-11-2006 28-07-2005
CN 101949821 A	19-01-2011	KEINE	