

(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  
10. November 2011 (10.11.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2011/138437 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*G01P 5/24* (2006.01) *G01P 5/00* (2006.01)  
*G01P 5/26* (2006.01)
- (74) Anwalt: MAIWALD PATENTANWALTS GMBH;  
KOPF, Korbinian, Elisenhof, Elisenstr. 3, 80335 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/057313
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
6. Mai 2011 (06.05.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2010 019 811.0 6. Mai 2010 (06.05.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): AIRBUS OPERATIONS GMBH [DE/DE]; Kreetstag 10, 21129 Hamburg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PEUSER, Peter [DE/DE]; Nelkenstr. 46b, 85521 Riemerling (DE). PFINGS-TEN, Bernd [DE/DE]; Ostelsheimer Str. 20, 71134 Aidlingen (DE).
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING THE FLOW VELOCITY BY MEANS OF A PLASMA

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG DER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT MITTELS EINES PLASMAS

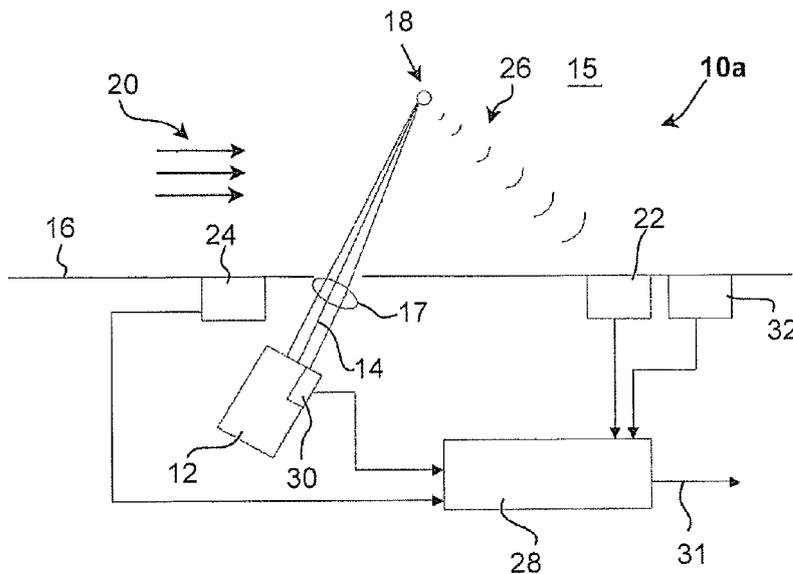


Fig. 1

(57) Abstract: Method and apparatus for measuring the flow velocity of a fluid, in particular air, using laser beams (14), wherein at least one laser beam pulse (14) which is focused in the fluid flow is used to form a plasma in the beam focus (18), and the acoustic (26) and/or optical (42) effects which occur during plasma formation are detected and are used to determine the flow velocity of the fluid.

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit eines Fluides, insbesondere von Luft, unter Verwendung von Laserstrahlen (14), wobei mittels mindestens eines im Fluidstrom fokussierten Laserstrahlimpulses (14) im Strahlenfokus (18) ein Plasma gebildet wird und die bei der Plasmabildung auftretenden akustischen (26) und/oder optischen (42) Effekte erfasst werden und daraus die Strömungsgeschwindigkeit des Fluides bestimmt wird.

WO 2011/138437 A1



**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer ii)*

**Veröffentlicht:**

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

## Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit mittels eines Plasmas

### VERWANDTE ANMELDUNGEN

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2010 019 811.0, eingereicht am 6. Mai 2010, deren Inhalt hierin durch Referenz inkorporiert wird.

### TECHNISCHES GEBIET

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit von Fluiden, insbesondere von Gasen und eine Verwendung einer derartigen Vorrichtung.

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

In der Strömungsmesstechnik werden für die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von Fluiden allgemein und insbesondere von Gasen wie Luft, unterschiedliche Messverfahren eingesetzt. Ein besonders einfaches Messgerät stellt dabei das Flügelrad-Anemometer dar. Weit verbreitet sind auch sogenannte thermische Strömungssensoren wie das Heißfilm-Anemometer oder Konstant-Temperatur-Anemometer.

Aufwendigere Verfahren nutzen Laserstrahlen, wie z.B. bei der sogenannten „Particle Image Velocimetry“. Dabei werden die Geschwindigkeit und die Richtung von mitgeführten Partikeln mittels der rückbestreuten Laserstrahlung bestimmt. Die Strömung wird dazu in einer Ebene kurzzeitig belichtet. Aus dem Vergleich zweier Aufnahmen kann die Verschiebung der einzelnen Partikel festgestellt werden, wobei diese Information dann für die Berechnung der Geschwindigkeitsfelder verwendbar ist.

Auch bei der sogenannten Laser-Doppler-Anemometrie wird die Streuung der Laserstrahlung durch die in der Luftströmung vorhandenen Partikel zur Messung der Luftgeschwindigkeit verwendet.

Besonders aufwendige Messtechniken stellen sog. Lidar-Verfahren dar, die zur Turbulenzmessung entwickelt wurden. Hierbei wird die an Aerosolen oder Molekülen durch Streuung zurückgestreute Kurzpuls-Laserstrahlung detektiert. Ein besonders wichtiges Anwendungsgebiet der Strömungsmesstechnik ist die Geschwindigkeitsmessung bei Flugzeugen, wo bisher hauptsächlich das sogenannte Pitot-Messprinzip eingesetzt wird, bei dem ein Pitot-Rohr im Luftstrom angeordnet ist. Aufgrund dieses Messprinzips in Verbindung mit der exponierten Lage des Pitot-Rohrs abtend von der Außenwand eines Flugzeuges ist dieses allerdings anfällig für Schmutz, Insekten, Wasser und Vereisung, was zur Messfehlern bzw. auch zum totalen Ausfall der Geschwindigkeitsmessung führen kann. Auf derartige Fehler bzw. Ausfälle sind nachweislich bereits mehrere größere Flugzeugabstürze zurückzuführen.

Pitot-Rohre kommen auch bei schnellfahrenden Kraftfahrzeugen zum Einsatz, wenn ein Geschwindigkeitsmesswert benötigt wird, der von der Reifendrehzahl unabhängig ist.

Abgesehen von der sehr aufwendigen Messtechnik eines direkt detektierenden Lidar-Systems müssen bei den anderen Messverfahren entweder Partikel in der Luft vorhanden sein oder die Luftströmung wird durch eingebrachte Messsonden in irgendeiner Weise beeinflusst oder sogar gestört, was zu Messwertverfälschungen führen kann.

#### ZUSAMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, mit einem geringen baulichen Aufwand und einer geringen Störungsanfälligkeit die Strömungsgeschwindigkeit eines Fluides, insbesondere einer Luftströmung, genau zu bestimmen, ohne dass es erforderlich ist, dass in der Strömung Partikel vorhanden sind oder dass eine die Strömung störende Messsonde eingebracht werden muss.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bezüglich des Verfahrens dadurch gelöst, dass mittels mindestens eines fokussierten Laserstrahls im Strahlenfokus ein Plasma im Fluid gebildet wird und die bei der Plasmabildung auftretenden akustischen und/oder

optischen Effekte erfasst werden und daraus die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird.

Ferner wird die Aufgabe gelöst durch eine Vorrichtung zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit eines Fluides, umfassend mindestens einen Impulslaser hoher Impulsleistung mit einer Fokussiereinrichtung zur Erzeugung eines Strahlenfokus im Fluid sowie eines Plasmas im Strahlenfokus, ferner umfassend mindestens eine Detektoreinrichtung zur Erfassung von bei der Plasmabildung auftretenden akustischen und/oder optischen Effekte, sowie eine Kontrolleinheit zur Ansteuerung des Impulslasers sowie zur Erfassung und Analyse der Signale der mindestens einen Detektoreinrichtung sowie zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit aus den erfassten Signalen.

Durch die Erzeugung mindestens eines fokussierten Laserstrahlimpulses können im Fokuspunkt Intensitäten von einigen zehn Gigawatt/cm<sup>2</sup> erzeugt werden. Dies hat zur Folge, dass im Fluid im unmittelbaren Nahbereich des Fokuspunktes ein Plasma entsteht, welches sich nun direkt im strömenden Fluid befindet, d.h. dass es Teil des Fluides und akustisch wie optisch leicht detektierbar ist. Die Einwirkung des strömenden Fluides auf das Plasma bzw. auf Wechselwirkung des Plasmas mit dem Fluid gestattet es nun, mittels des Plasmas die Strömungsgeschwindigkeit des Fluides relativ zum Detektor zu messen.

Das Laser-generierte Plasma repräsentiert eine praktisch ideale Punktquelle für Schall- oder Strahlungsemission. Die Strömung wird dabei in keiner Weise beeinflusst oder gestört, da es nicht erforderlich ist, irgendwelche Objekte in das strömende Medium einzubringen. Durch die kurze Zeitcharakteristik des durch einen Kurzpulslaser erzeugten Plasmas, welches im Falle von Luft eine typische Lebensdauer im Bereich von einigen 10 ns hat, werden sehr genaue Messungen, insbesondere Zeitmessungen bei der Schallausbreitung, ermöglicht. Die Erfindung ermöglicht eine Messgenauigkeit von besser als einem Promille.

Zur Erzeugung des Laserimpulses wird ein Kurzpuls-Laserstrahl mittels einer Fokussierlinse in einen Messraum eingestrahlt, in dem das zu messende Fluid strömt.

Der Fokuspunkt des fokussierten Laserstrahles wird dabei in einer hinreichend großen Entfernung vom Rand des Messraumes eingerichtet, so dass eine Beeinflussung des strömenden Fluides durch Randeffekte weitgehend oder ganz vermieden werden kann. Geeignete Laserstrahlung kann vorzugsweise mittels eines miniaturisierten gepulsten Festkörperlasers bereit gestellt werden, der vorzugsweise eine Pulsleistung im Bereich von mehreren Megawatt aufweist. Solche Pulsleistungen ergeben sich bei einem Laser mit einer Pulslänge im Bereich von wenigen Nanosekunden und Pulsenergien von mehreren Millijoule. Wird ein solcher Laserstrahl fokussiert, so lassen sich die eingangs erwähnten Intensitäten im Bereich von einigen zehn Gigawatt/cm<sup>2</sup> im Fokus erzielen, wodurch im Fokuspunkt das Plasma entsteht. Das Plasma erzeugt einen Schallimpuls und generiert somit eine ideale punktförmige Schallquelle. Die Erfindung ermöglicht also eine Geschwindigkeitsmessung unabhängig vom Vorhandensein irgendwelcher Partikel und eignet sich insbesondere zur Geschwindigkeitsmessung von strömender Luft.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird der Laserpuls bzw. der Plasmapuls als Startimpuls verwendet, und der Stopimpuls wird von einem Schallsensor, z. B. einem Mikrofon, bereitgestellt, welches eine möglichst hohe Grenzfrequenz im Bereich von mindestens 20 kHz aufweist. Der Stopimpuls kann dabei mit einer Genauigkeit von besser als 1  $\mu$ s definiert werden. Mittels eines Zeitmesssystems lässt sich somit die Laufzeit der akustischen Wellenfront vom Ausgangsort Plasma bis zum Schalldetektor sehr genau bestimmen. Aufgrund des sogenannten Mitnahmeeffektes (d. h. Addition der Vektoren der Schallgeschwindigkeit und der Strömungsgeschwindigkeit) bei der Schallausbreitung in einem mit einer bestimmten Geschwindigkeit strömenden gasförmigen oder flüssigen Medium kann auf diese Weise die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums gemessen werden. Wird beispielsweise der Schalldetektor im Falle von Luft, in Strömungsrichtung betrachtet, vor dem Plasma seitlich angeordnet, und beträgt der Abstand zwischen der Plasma-Schallquelle und dem Detektor beispielsweise etwa 0,5m, so beträgt die Laufzeit des Schallimpulses mehrere Millisekunden schon bei relativ geringen Strömungsgeschwindigkeiten von weniger als 0,2 Mach. Das Verfahren ist geeignet, sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten bis in den Bereich der Schallgeschwindigkeit mit einer großen Genauigkeit zu messen.

Die Erfindung eignet sich also vor allem zur Geschwindigkeitsmessung in Gasen, vor allem Luft. Eine besonders bevorzugte Anwendung ist die Geschwindigkeitsmessung von Luftfahrzeugen zum Ersatz der bisher verwendeten mit Pitot-Messröhren ausgestatteten Geschwindigkeitsmessern.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird der bei der Plasmabildung entstehende Schallimpuls erfasst und aus dem Zeitraum zwischen Laserimpuls und erfasstem Schallimpuls die Strömungsgeschwindigkeit des Fluides bestimmt. Mithin wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit des bei der Plasmabildung entstehenden kräftigen akustischen Impulses gemessen, indem der kurze Laserimpuls mit einer Genauigkeit von weniger als 1 ns den Startimpuls gibt und ein an einer geeigneten Stelle am Rand des Messraumes angebrachter Schalldetektor, insbesondere ein Mikrofon oder Drucksensor, den ankommenden Schallimpuls aufnimmt. Die Zeit zwischen dem Startimpuls und dem gemessenen Schallimpuls, der am Mikrofon aufgenommen wird, ist ein Maß für die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des akustischen Impulses ist nun von der Strömungsgeschwindigkeit des Fluides abhängig und somit lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit aus den vorgegebenen festen Entfernungen (vom Fokuspunkt bis zum Mikrofon) und der gemessenen Zeitdifferenz bestimmen. Dabei ist es von Vorteil, dass die Schallgeschwindigkeit nicht vom Luftdruck und auch nicht von der Luftfeuchte abhängt, so dass das Messverfahren auch in großen Höhen und in Wolken bei der Anwendung als Geschwindigkeitsmessgerät eines Luftfahrzeugs anwendbar ist.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird der Schallimpuls an mehreren stromab des Strahlfokus angeordneten Erfassungspunkten erfasst und daraus die Strömungsgeschwindigkeit im Überschallbereich bestimmt. In diesem Falle, im Überschallbereich, bildet sich der sog. Machsche Kegel aus, wobei für den Öffnungswinkel des Kegels die Beziehung gilt:  $\sin \alpha = c/v$ , mit der Schallgeschwindigkeit  $c$  und der Strömungsgeschwindigkeit  $v$ . Dabei verringert sich der Öffnungswinkel des Machschen Kegels, wenn die Strömungsgeschwindigkeit größer wird. Bei kleineren Strömungsgeschwindigkeiten, d. h. größeren Öffnungswinkeln des Kegels, trifft der Kegelmantel auf diejenigen Schalldetektoren,

welche am nächsten zum Fokuspunkt (dem Plasma) angeordnet sind. Je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist, desto kleiner wird der Öffnungswinkel, und der Kegelmantel trifft auf die Schalldetektoren, welche weiter stromab angeordnet sind. Die weiter stromauf angeordneten Detektoren erhalten dann kein Signal. Somit kann, entsprechend der Anzahl und dem Abstand der Schalldetektoren, jedem Überschall-Geschwindigkeitsbereich ein bestimmter Satz von Detektoren zugeordnet werden, wodurch die Geschwindigkeitsbestimmung ermöglicht wird.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung dieser Ausführungsform wird die Temperatur des Fluides gemessen und die Strömungsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Fluidtemperatur bestimmt, da die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur des Fluides abhängig ist.

Eine vorteilhafte Weiterbildung dieser Ausführungsform sieht vor, dass der bei der Plasmabildung entstehende Schallimpuls an zwei in Strömungsrichtung voneinander beabstandeten Stellen erfasst wird und aufgrund der gemessenen Laufzeitunterschiede die Strömungsgeschwindigkeit im Unterschallbereich bestimmt wird. Besonders bevorzugt ist es, wenn die beiden Mikrophone im gleichen Abstand stromauf- bzw. stromabwärts vom Laserfokus installiert sind.

Eine weitere vorteilhafte Ausbildung der Erfindung sieht vor, dass der bei der Plasmabildung entstehende Schallimpuls erfasst und einer akustischen Frequenzanalyse unterzogen wird und aus der Frequenzverschiebung aufgrund des Dopplereffektes die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird. Dazu wird wiederum mit einem Messmikrofon der akustische Impuls erfasst und einem Frequenzanalysator zugeführt. Aus der gemessenen Frequenzverschiebung lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit dann berechnen.

Um ein optimales Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu erhalten, kann hierbei vorteilhafterweise auch ein sogenanntes Lock-in-Verfahren angewandt werden, also eine phasenempfindliche Detektionsmethode, die im Fall von periodischen Signalen erhebliche Vorteile bringt. Dazu wird vorzugsweise für eine bestimmte Messzeit,

beispielsweise 10 sek., eine Folge von Laserimpulsen mit einer Pulswiederholungsrate im Bereich von 10 Hz bis 1.000 Hz erzeugt.

Eine alternative vorteilhafte Ausbildung der Erfindung sieht vor, dass der bei der Plasmabildung entstehende optische Impuls erfasst und einer Spektralanalyse unterzogen wird und aus der Frequenzverschiebung aufgrund des Dopplereffektes die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird. Dazu wird das optische Signal mittels eines in oder hinter der Wandung des Messraumes angebrachten optischen Linsensystems erfasst und beispielsweise über eine optische Faser einem Spektrometer zugeführt. Aufgrund der mittels diskreter Fouriertransformation bestimmten Frequenzverschiebung lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit des Fluides bestimmen, denn beispielsweise bei einer Strömungsgeschwindigkeit (z.B. einer Fluggeschwindigkeit) von 360 km/h ergibt sich bei einer Laserwellenlänge von  $1\mu\text{m}$  eine Frequenzverschiebung im Bereich von ca. einem GHz, was mit hoher Genauigkeit erfasst werden kann.

Es sei ausdrücklich betont, dass gemäß Weiterbildungen des Erfindungsgedankens mehrere der oben beschriebenen Messprinzipien gekoppelt werden können, um die Messgenauigkeit oder die Betriebssicherheit zu erhöhen. So kann beispielsweise sowohl der bei der Plasmabildung entstehende Schallimpuls als auch der optische Impuls gemessen werden.

Auch ist es möglich, mehrere der einzelnen Ausbildungen aufgrund des gleichen physikalischen Prinzips zu kombinieren. So kann eine Geschwindigkeitsdetektion aufgrund der Laufzeitdifferenz zwischen dem erzeugten Impuls und einer Messstelle gekoppelt werden mit dem Bestimmungsprinzip aufgrund der Laufzeitdifferenz zwischen zwei akustischen Sensoren. Oder die Anordnung zur akustischen Erfassung des Plasmaimpulses im Unterschallbereich wird mit dem System für den Überschallbereich kombiniert.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausbildung der Erfindung umfasst eine Vorrichtung zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit eines Fluides mindestens einen Impulslaser hoher Impulsleistung mit einer Fokussiereinrichtung zur

Erzeugung eines Strahlenfokus im Fluid sowie eines Plasmas im Strahlenfokus, ferner mindestens eine Detektoreinrichtung zur Erfassung von bei der Plasmabildung auftretenden akustischen und/oder optischen Effekte, sowie eine Kontrolleinheit zur Ansteuerung des Impulslasers sowie zur Erfassung und Analyse der Signale der mindestens einen Detektoreinrichtung sowie zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit aus den erfassten Signalen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen weiter erläutert. Gleiche Bezugszeichen in verschiedenen Darstellungen bezeichnen dabei gleiche Bauteile. Dabei zeigt:

- Figur 1: eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform der Erfindung zur Geschwindigkeitsmessung in einem Gas mit akustischen Detektoren für den Unterschallbereich;
- Figur 2: eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der Erfindung zur Geschwindigkeitsmessung in einem Gas mit akustischen Detektoren für den Überschallbereich;
- Figur 3: eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform der Erfindung zur Geschwindigkeitsmessung in einem Gas mit einem optischen Detektor;
- Figur 4: ein Diagramm, das eine Frequenzverschiebung bei einer akustischen Messung darstellt, und
- Figur 5: ein Diagramm, das diskrete Fouriertransformationen zweier akustischer Spektren darstellt.

## DETAILLIERTE DARSTELLUNG EXEMPLARISCHER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Die in Figur 1 dargestellte erste Ausführung der Erfindung 10a umfasst einen Kurzpuls laser 12, der vorzugsweise als Festkörper laser 12, besonders bevorzugt als Nd:YAG-Laser ausgebildet ist, dessen Laserstrahl 14 in einen Gas-durchströmten Messraum 15 gerichtet ist und mittels einer im Bereich der Messraumwandung 16 angeordneten Fokussierlinse 17 in einem Strahlenfokus 18 gebündelt ist. Bei Verwendung einer Laserwellenlänge von ca. 1064 nm ist es aufgrund der starken Fokussierung möglich, bereits ca. 2m hinter dem Plasma Lasersicherheit zu erreichen. Alternativ kann bei Verwendung einer Wellenlänge im sog. augensicheren Bereich, insbesondere bei ca. 1500 nm eine um 6 Größenordnungen stärkere Strahlung verwendet werden bzw. es lässt sich praktisch im Nahbereich des Plasmas Lasersicherheit erreichen.

Der Strahlenfokus 18 liegt dabei ausreichend entfernt von der Messraumwandung 16, um Randeffekte zu vermeiden. Der Messraum 15 wird in der mit 20 bezeichneten Richtung von einem Gas durchströmt. Das Gas, dessen Geschwindigkeit gemessen wird, ist vorzugsweise Luft.

Der Kurzpuls laser 12 hat bevorzugt eine Pulsleistung im Bereich von 1 bis 10 MW mit einer Pulslänge im Bereich von 1 bis 10 ns, so dass im Strahlenfokus 18 eine Intensität im Bereich von 10 bis 100 GW/cm<sup>2</sup> entsteht. Dadurch bildet sich in Folge eines Laserimpulses in der unmittelbaren Umgebung des Strahlenfokus 18 ein Plasma im Messraum 15 aus. Das Plasma generiert eine punktförmige Schallquelle. Ein akustischer Detektor 22, vorzugsweise ein Drucksensor oder Messmikrofon, erfasst den ankommenden Schallimpuls 26 und leitet diesen einer Kontrolleinheit 28 zu.

Am Kurzpuls laser 12 ist ferner eine Fotodiode 30 angebracht, welche den Laserimpuls 14 detektiert und das Signal ebenfalls der Kontrolleinheit 28 zuführt. Alternativ kann auch ein entsprechendes elektronisches Impulssignal direkt am Kurzpuls laser 12 abgegriffen werden. Die Kontrolleinheit 28 umfasst einen Zeit-zu-Amplituden-Konverter (time-to-amplitude-converter) oder ein anderes

Zeitmesssystem, an dessen Starteingang das Signal der Fotodiode 30 oder eines anderen elektronischen Impulssignals des Lasers an dessen Stoppeingang das Signal eines akustischen Detektors 22 anliegt, so dass die Zeit zwischen dem Start- und dem Stoppimpuls gemessen wird. Da die Entfernung zwischen dem Strahlfokus 18 und dem akustischen Detektor 22 definiert ist, kann aufgrund der gemessenen Zeitdifferenz die Strömungsgeschwindigkeit im Messraum 20 berechnet und ein entsprechendes Geschwindigkeitssignal 31 ausgegeben werden. Ferner ist vorzugsweise ein Temperatursensor 32 vorgesehen, dessen Signal ebenfalls der Kontrolleinheit 28 zugeführt wird und mittels dessen die Temperatur des Gases im Messraum 20 gemessen wird. Da die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur des Gases abhängig ist, kann über die Temperaturmessung eine Korrektur der aus der Zeitdifferenz bestimmten Geschwindigkeit vorgenommen werden. Die Schallgeschwindigkeit ist gemäß folgender Formel abhängig von der Temperatur:

$$c = 331,5 * \sqrt{(1 + T/273,15)}$$

Der akustische Detektor 22 ist vorzugsweise ein Drucksensor, um sehr kurze Signale im Mikrosekundenbereich erfassen zu können.

Ferner kann ein zweiter akustischer Detektor 24 vorgesehen sein, der in Strömungsrichtung 20 gegenüber dem ersten akustischen Detektor 22 versetzt ist, so dass aus der Zeitdifferenz zwischen den Signalen der beiden Detektoren 22, 24 die Strömungsgeschwindigkeit des Gases ermittelbar ist. Sofern die beiden Detektoren 22, 24 in jeweils gleicher Entfernung stromauf bzw. stromab des Fokuspunktes 18 angeordnet sind, besteht bei stehendem Gas (keine Strömungsgeschwindigkeit) kein Laufzeitunterschied zwischen den Signalen der beiden Detektoren 22, 24. Jede Strömung bewirkt also eine auswertbare Zeitdifferenz zwischen den Signalen beider Detektoren 22, 24.

Alternativ kann der akustische Detektor 22 (und/oder der Detektor 24) als Mikrofon ausgebildet sein, in welchem Fall die Kontrolleinheit 28 einen akustischen Frequenzanalysator umfasst, um das Frequenzspektrum des Mikrofonsignals mittels einer diskreten Fouriertransformation zu erfassen, und daraus die Doppler-

Frequenzverschiebung zu ermitteln. Aus der Frequenzverschiebung  $f'$  läßt sich die Geschwindigkeit  $v$  mittels der Relation

$$f' = f_0 * (1 / (1 - v/c))$$

bestimmen ( $c$  ist die Schallgeschwindigkeit;  $f_0$  ist Frequenz bei Geschwindigkeit 0). In Figur 4 ist ein Beispiel dargestellt.

Figur 2 zeigt eine alternative Ausführungsform 10b, die sich von der Ausführungsform gemäß Figur 1 dadurch unterscheidet, dass stromab des Fokuspunktes 18 eine Reihe von akustischen oder druckempfindlichen Sensoren 34 angeordnet ist, die mit der Kontrolleinheit 28 verbunden sind. Dabei fließt die strömende Luft 20 von rechts nach links und trifft auf die punktförmige Plasma-Schallquelle im Fokuspunkt 18. Es bildet sich der Machsche Kegel aus, wobei für den Öffnungswinkel des Kegels die Beziehung gilt:  $\sin \alpha = c/v$ , mit der Schallgeschwindigkeit  $c$  und der Strömungsgeschwindigkeit  $v$ . An der Messraumwandung 16, welche parallel zur Strömungsrichtung 20 verläuft, sind strömungsabwärts, d. h. hinter der Plasma-Schallquelle 18, mehrere Schallsensoren 34 in einer Linie hintereinander angeordnet, welche so eingebaut sind, dass die Luftströmung nicht beeinflusst wird. Bei kleineren Überschall-Strömungsgeschwindigkeiten, d. h. größeren Öffnungswinkeln des Kegels, trifft der Kegelmantel 37 auf diejenigen Schalldetektoren, welche am weitesten rechts angeordnet sind. Je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist, desto kleiner wird der Öffnungswinkel  $\alpha$ , und der Kegelmantel 37 trifft auf die Schalldetektoren 34a, welche, in Strömungsrichtung gesehen, stromab, d. h. in der Abbildung weiter links, angeordnet sind. Die stromauf angeordneten Detektoren 34b erhalten dann kein Signal. Somit kann, entsprechend der Anzahl und dem Abstand der Schalldetektoren 34, jedem Überschall-Geschwindigkeitsbereich ein bestimmter Satz von Detektoren 34a zugeordnet werden, wodurch die Geschwindigkeitsbestimmung im Überschallbereich ermöglicht wird. Die Ausführungsformen der beiden Figuren 1 und 2 bzw. die jeweiligen Anordnungen der Detektoren 22, 24, 34 können auch bevorzugt kombiniert werden, um eine Geschwindigkeitsmessung im Unter- und Überschallbereich zu erreichen.

Figur 3 zeigt eine zweite alternative Ausführungsform 10c zur Signalerfassung mittels eines optischen Detektors 40, dessen Signal der Kontrolleinheit 28 zugeführt wird. Das im Fokuspunkt 18 gebildete Plasma sendet elektromagnetische Strahlung 42 unter anderem auf den optischen Detektor 40. In der Kontrolleinheit 28 erfolgt eine Analyse des optischen Signals. In einer Ausführungsform umfasst die Kontrolleinheit 28 eine Wellenlängen-Messeinheit, die den Schwerpunkt des optischen Spektrums der erfassten Strahlung 42 bestimmt und mit dem gespeicherten Wert bei keinerlei Strömung des Gases misst. Da das Plasma vom Fokuspunkt 18 mit der Gasströmung mitgerissen wird, erfolgt demnach eine Relativbewegung des Plasmas in Strömungsrichtung 20 relativ zum optischen Detektor 40 so dass aufgrund des Dopplereffektes eine Frequenzverschiebung des Strahlungsspektrums gemessen wird. Ferner ist ein Temperatursensor 32 vorgesehen, dessen Signal ebenfalls der Kontrolleinheit 28 zugeführt wird und mittels dessen die Temperatur des Gases im Messraum 20 gemessen wird. Mittels der weiter oben genannten Formel wird die Schallgeschwindigkeit anhand der gemessenen Fluidtemperatur korrigiert.

Alternativ oder zusätzlich kann die Kontrolleinheit 28 eine Spektrometereinheit umfassen, wodurch die Wellenlängenverschiebung der Spektrallinien gegenüber dem strömungsfreien Zustand im Messraum 15 bestimmbar ist.

Es sei angemerkt, dass bei allen Fällen des Durchtritts von optischer Strahlung durch die Messraumwandung 16 entsprechende, nicht dargestellte optische Fenster vorgesehen sind, um die Fluidströmung im Messraum abzugrenzen vom Raum mit den Messapparaturen.

Figur 4 zeigt zwei Diagramme, wobei ein mittels diskreter Fouriertransformation erhaltenes akustisches Frequenzspektrum 50 bei Geschwindigkeit null gestrichelt und ein Frequenzspektrum 52 bei einer Strömungsgeschwindigkeit größer null dargestellt sind. Die Kurven enthalten ein Maximum sowie mehrere kleinere symmetrisch dazu angeordnete Seitenmaxima, die Artefakte sind und von sog. „Aliasingeffekten“ stammen. Das Frequenzspektrum 52 ist gegenüber dem Frequenzspektrum 50 gespreizt in Richtung einer höheren Frequenz, die einer

stromab (mittels des Detektors 22 in Figur 1 gemessenen) höheren Strömungsgeschwindigkeit entspricht.

Figur 5 zeigt zwei Diagramme mittels diskreter Fouriertransformationen erhaltener Frequenzspektren 54, 56, wobei das gestrichelt dargestellte Frequenzspektrum 56 das Signal bei einer Strömungsgeschwindigkeit größer null darstellt. Die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  läßt sich mittels der Gleichung

$$v = c * (1 - f_0/f')$$

bestimmen, wobei  $c$  die Schallgeschwindigkeit,  $f_0$  die Frequenz bei einer Geschwindigkeit null und  $f'$  die gemessene Frequenz sind.

- 14 -

## ANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit eines Fluides, insbesondere eines Gases, unter Verwendung von Laserstrahlung (14), dadurch gekennzeichnet, dass mittels mindestens eines im Fluidstrom fokussierten Laserstrahlimpulses (14) im Strahlenfokus (18) ein Plasma gebildet wird und die bei der Plasmabildung auftretenden akustischen (26) und/oder optischen (42) Effekte erfasst werden und daraus die Strömungsgeschwindigkeit des Fluides bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der bei der Plasmabildung entstehende Schallimpuls (26) erfasst wird und aus dem Zeitraum zwischen Laserimpuls (14) und erfasstem Schallimpuls (26) die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schallimpuls (26) an mehreren stromab des Strahlenfokus angeordneten Erfassungspunkten (34) erfasst wird und daraus die Strömungsgeschwindigkeit im Überschallbereich bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Fluides gemessen (32) wird und die Strömungsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Fluidtemperatur bestimmt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der bei der Plasmabildung entstehende Schallimpuls (26) an zwei in Strömungsrichtung voneinander beabstandeten Stellen (22, 24) erfasst wird und aufgrund des gemessenen Laufzeitunterschiedes die Strömungsgeschwindigkeit im Unterschallbereich bestimmt wird.

30

- 15 -

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der bei der Plasmabildung entstehende Schallimpuls (26) erfasst und einer Frequenzanalyse unterzogen wird und aus der Frequenzverschiebung aufgrund des Dopplereffektes die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird.
- 5
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Folge von Laserstrahlimpulsen (14) erzeugt wird und die entstehenden Schallimpulse (26) einer Frequenz- und Phasenanalyse unterzogen werden aufgrund der die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird.
- 10
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der bei der Plasmabildung entstehende optische Impuls (42) erfasst und einer Spektralanalyse unterzogen wird und aus der Frequenzverschiebung aufgrund des Dopplereffektes die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt wird.
- 15
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere der beanspruchten Erfassungsmethoden zeitgleich angewandt werden und aus den jeweils bestimmten Werte der Strömungsgeschwindigkeit eine Wert mit verbesserter Genauigkeit bestimmt wird.
- 20
10. Vorrichtung zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit eines Fluides, umfassend mindestens einen Impulslaser (12) mit einer Fokussiereinrichtung (17) zur Erzeugung eines Strahlenfokus (18) im Fluid sowie eines Plasmas im Strahlenfokus (18), ferner umfassend mindestens eine Detektoreinrichtung (22, 24,, 34, 40) zur Erfassung von bei der Plasmabildung auftretenden akustischen und/oder optischen Effekte, sowie eine Kontrolleinheit (28) zur Ansteuerung des Impulslasers (12) sowie zur Erfassung und Analyse der Signale der mindestens einen Detektoreinrichtung (22, 24,, 34, 40) sowie zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit aus den erfassten Signalen.
- 25
- 30

- 16 -

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass diese mindestens einen Schalldetektor (22, 24, 34) umfasst.
- 5 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass in Strömungsrichtung stromab des Fokuspunktes mehrere Schalldetektoren (34) hintereinander angeordnet sind, wobei auf der Grundlage des stromaufwärtigsten ein Signal erfassenden Schalldetektors (34a) die Strömungsgeschwindigkeit im Überschallbereich bestimmbar ist.
- 10 13. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass diese mindestens einen Temperatursensor (32) umfasst.
14. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass diese mindestens einen optischen Detektor (40) umfasst.
- 15 15. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14 zur Geschwindigkeitsmessung eines Luftfahrzeugs oder eines Kraftfahrzeugs.

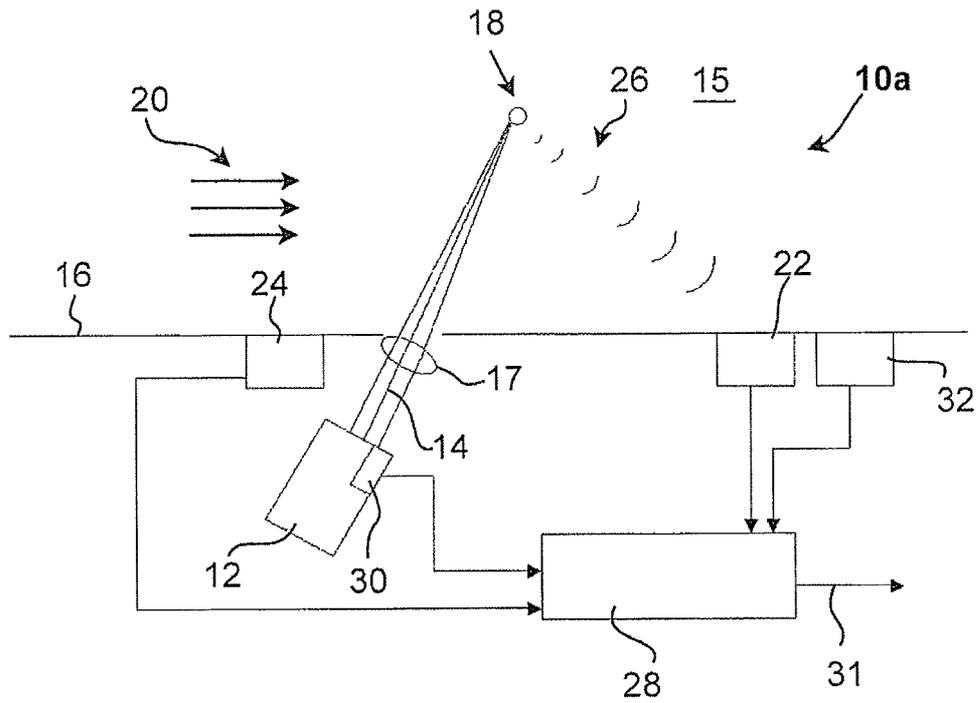


Fig. 1

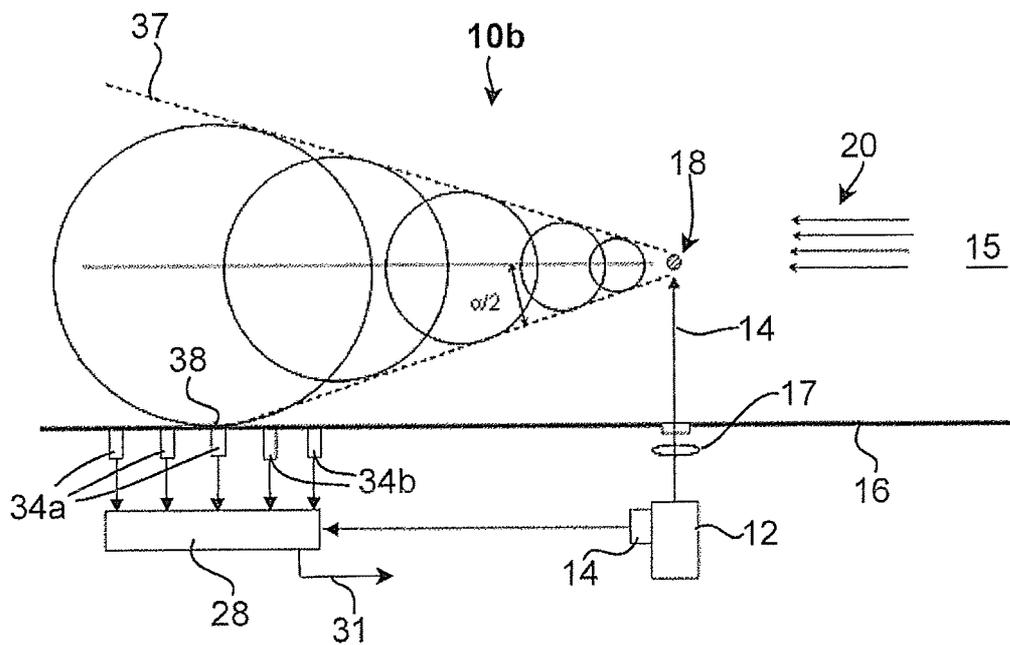


Fig. 2

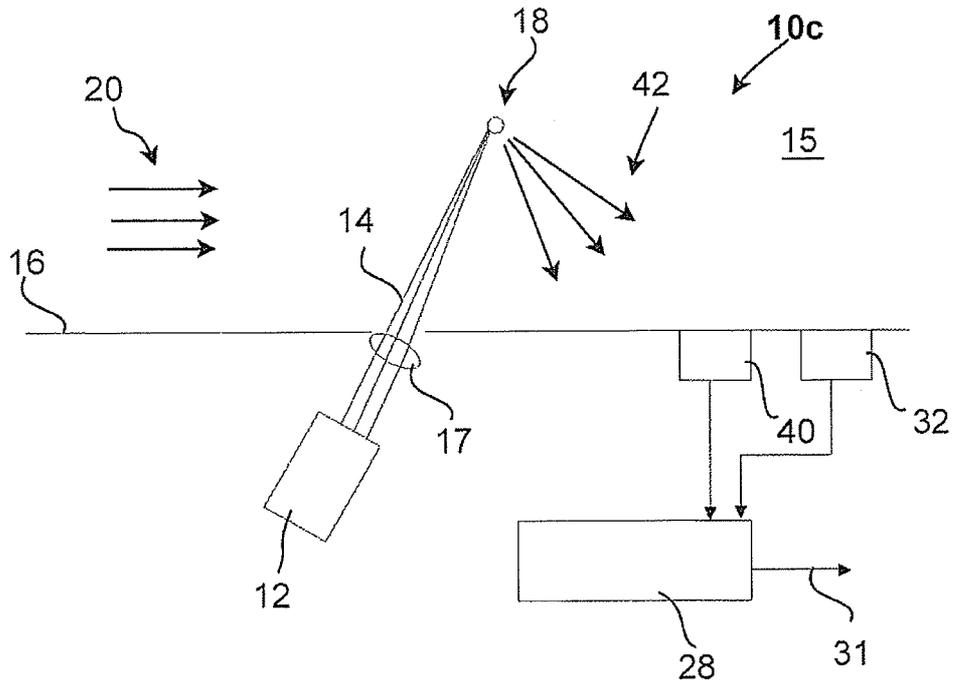
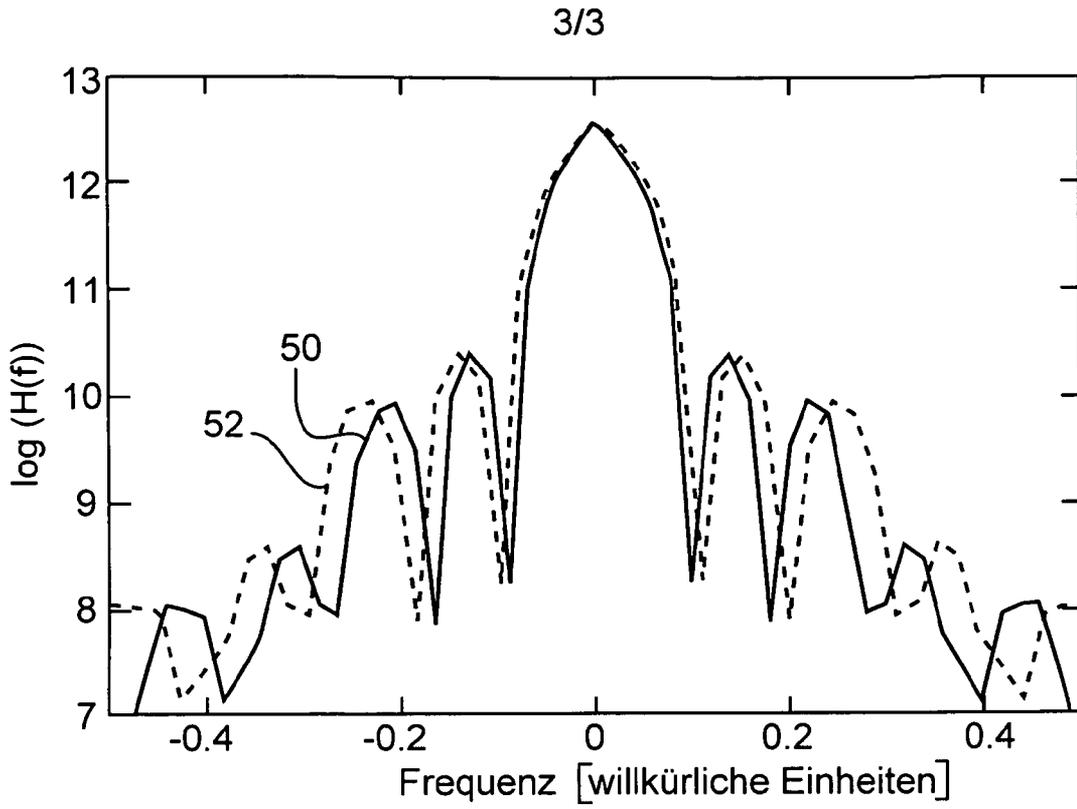
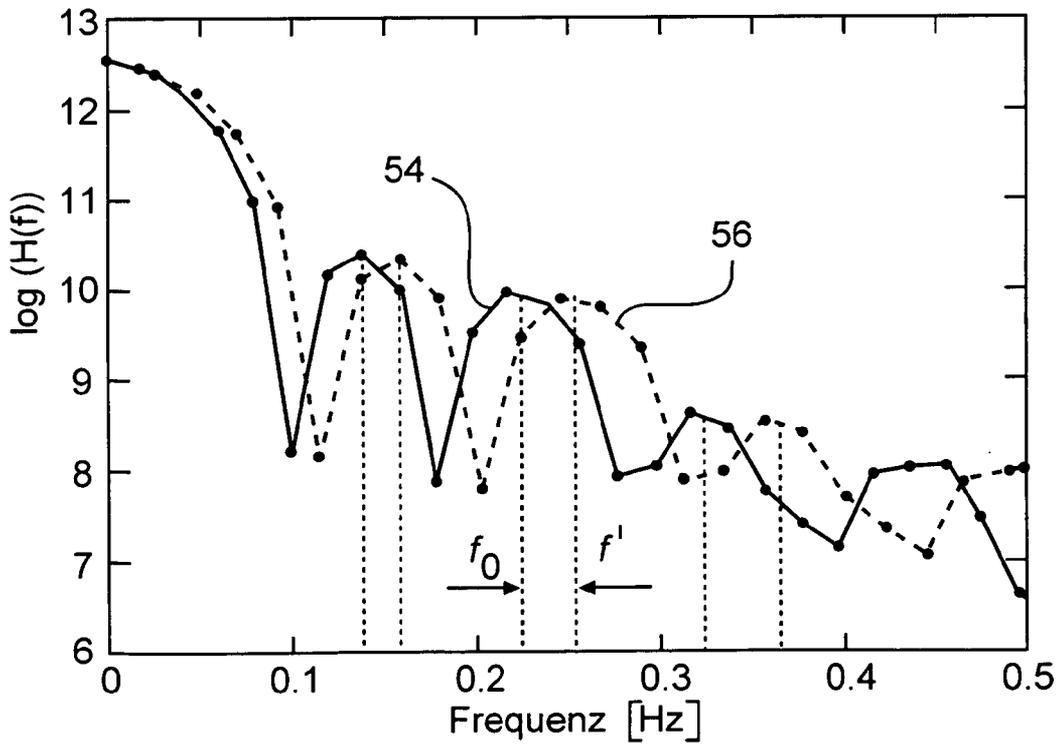


Fig. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2011/057313

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01P5/24 G01P5/26 G01P5/00  
ADD.  
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)  
G01P G01F  
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 practical, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	COSTLEY R D ET AL: "Photoacoustic technique for measuring velocity, temperature and density of a gas flow", ENERGY CONVERSION ENGINEERING CONFERENCE, 1996. IECEC 96., PROCEEDINGS OF THE 31ST INTERSOCIETY WASHINGTON, DC, USA 11-16 AUG. 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, vol. 2, 11 August 1996 (1996-08-11), pages 872-876, XP010197843, DOI: 10.1109/IECEC.1996.553812 ISBN: 978-0-7803-3547-9	1,2,4,5, 10,11,13
Y	abstract figure 1	3,6-9, 14,15
X	----- EP 0 947 826 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB] ROLLS ROYCE PLC) 6 October 1999 (1999-10-06) paragraph [0015] - paragraph [0019] ----- -/--	1,10,14

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 document 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  14 September 2011	Date of mailing of the international search report  26/09/2011
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Rabenstein, Winfried

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2011/057313

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 3 795 448 A (FLETCHER J ET AL) 5 March 1974 (1974-03-05) abstract column 2, line 26 - line 49 -----	6-9,14
Y	DE 38 15 214 A1 (KOCH ALEXANDER DIPL ING [DE]) 16 November 1989 (1989-11-16) abstract -----	6-9,14
Y	US 5 648 604 A (MORBIEU BERTRAND [FR]) 15 July 1997 (1997-07-15) column 1, line 7 - line 20 column 1, line 58 - line 65 -----	15
Y	US 3 178 939 A (ROCHESTER JAMES R ET AL) 20 April 1965 (1965-04-20) column 1, line 20 - line 61 column 3, line 26 - line 38 column 4, line 29 - line 39 -----	3
A		12
A	DE 43 03 194 A1 (FISCHER HERWIG [DE]; FISCHER HANNO [DE]; MATJASIC KLAUS [DE]) 11 August 1994 (1994-08-11) column 1, line 47 - column 2, line 12 column 2, line 60 - column 3, line 22 -----	3,12

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see supplemental sheet

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

**The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:**

**1. Claims 1, 2, 4-11, 13-15**

**A method for measuring flow rate after the creation of a plasma, by measuring the propagation time or performing a frequency analysis.**

**1.1. Claims 2, 4, 5, 11, 13**

**Measuring the propagation time of the sound impulse generated by the plasma.**

**1.2. Claims 6-9, 14**

**Analysing the spectrum of generated acoustic or optical signals, and in particular determining the frequency shift caused by the Doppler effect.**

**1.3. Claim 15**

**The use of the known method of claim 1 to measure the speed of a vehicle.**

**2. Claims 3, 12**

**Determining a speed in the supersonic range by measuring the aperture angle of the Mach cone.**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2011/057313
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0947826	A2	06-10-1999 US 6134001 A	17-10-2000
US 3795448	A	05-03-1974 NONE	
DE 3815214	A1	16-11-1989 CH 679524 A5	28-02-1992
US 5648604	A	15-07-1997 DE 69525890 D1 DE 69525890 T2 EP 0703468 A1 FR 2725033 A1 JP 8211082 A	25-04-2002 31-10-2002 27-03-1996 29-03-1996 20-08-1996
US 3178939	A	20-04-1965 NONE	
DE 4303194	A1	11-08-1994 NONE	

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. G01P5/24      G01P5/26      G01P5/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) G01P G01F		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	COSTLEY R D ET AL: "Photoacoustic technique for measuring velocity, temperature and density of a gas flow", ENERGY CONVERSION ENGINEERING CONFERENCE, 1996. IECEC 96., PROCEEDINGS OF THE 31ST INTERSOCIETY WASHINGTON, DC, USA 11-16 AUG. 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, Bd. 2, 11. August 1996 (1996-08-11), Seiten 872-876, XP010197843, DOI: 10.1109/IECEC.1996.553812 ISBN: 978-0-7803-3547-9	1,2,4,5, 10,11,13
Y	Zusammenfassung Abbildung 1	3,6-9, 14,15
X	----- EP 0 947 826 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB] ROLLS ROYCE PLC) 6. Oktober 1999 (1999-10-06) Absatz [0015] - Absatz [0019] ----- -/--	1,10,14
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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" älteres Dokument, 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 anderen 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 14. September 2011		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 26/09/2011
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 Rabenstein, Winfried

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 3 795 448 A (FLETCHER J ET AL) 5. März 1974 (1974-03-05) Zusammenfassung Spalte 2, Zeile 26 - Zeile 49 -----	6-9,14
Y	DE 38 15 214 A1 (KOCH ALEXANDER DIPL ING [DE]) 16. November 1989 (1989-11-16) Zusammenfassung -----	6-9,14
Y	US 5 648 604 A (MORBIEU BERTRAND [FR]) 15. Juli 1997 (1997-07-15) Spalte 1, Zeile 7 - Zeile 20 Spalte 1, Zeile 58 - Zeile 65 -----	15
Y	US 3 178 939 A (ROCHESTER JAMES R ET AL) 20. April 1965 (1965-04-20) -----	3
A	Spalte 1, Zeile 20 - Zeile 61 Spalte 3, Zeile 26 - Zeile 38 Spalte 4, Zeile 29 - Zeile 39 -----	12
A	DE 43 03 194 A1 (FISCHER HERWIG [DE]; FISCHER HANNO [DE]; MATJASIC KLAUS [DE]) 11. August 1994 (1994-08-11) Spalte 1, Zeile 47 - Spalte 2, Zeile 12 Spalte 2, Zeile 60 - Spalte 3, Zeile 22 -----	3,12

**Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)**

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1.  Ansprüche Nr. weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
  
2.  Ansprüche Nr. weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
  
3.  Ansprüche Nr. weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

**Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)**

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1.  Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
  
2.  Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.
  
3.  Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
  
4.  Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

**Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs**

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

## WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1, 2, 4-11, 13-15

Verfahren zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit nach Erzeugen eines Plasmas durch Laufzeitmessung oder Frequenzanalyse

1.1. Ansprüche: 2, 4, 5, 11, 13

Laufzeitmessung des durch das Plasma erzeugten Schallimpulses.

1.2. Ansprüche: 6-9, 14

Untersuchung des Spektrums der erzeugten akustischen oder optischen Signale, insbesondere Bestimmung der Frequenzverschiebung durch den Dopplereffekt

1.3. Anspruch: 15

Verwendung des bekannten Verfahrens nach Anspruch 1 für die Geschwindigkeitsmessung eines Fahrzeugs.

---

2. Ansprüche: 3, 12

Bestimmung der Überschallgeschwindigkeit durch Erfassung der Öffnungsweite des Machschen Kegels.

---

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/057313

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0947826	A2	06-10-1999	US 6134001 A 17-10-2000
US 3795448	A	05-03-1974	KEINE
DE 3815214	A1	16-11-1989	CH 679524 A5 28-02-1992
US 5648604	A	15-07-1997	DE 69525890 D1 25-04-2002
			DE 69525890 T2 31-10-2002
			EP 0703468 A1 27-03-1996
			FR 2725033 A1 29-03-1996
			JP 8211082 A 20-08-1996
US 3178939	A	20-04-1965	KEINE
DE 4303194	A1	11-08-1994	KEINE