



## ZUSAMMENFASSUNG

Es sind Probenahmeverrichtungen mit einem Hauptkanal (10), durch den ein Gas strömt, einer Probenahmesonde (16), welche in den Hauptkanal (10) ragt, wobei die Probenahmesonde (16) ein Gehäuse (26) mit Kanalwänden (28, 54) aufweist, und einen im Innern des Gehäuses (26) ausgebildeten und durch die Kanalwände (28, 54) begrenzten Messgaskanal (18) aufweist, über den eine fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal (10) und einem Sensor (22) besteht, und mit Öffnungen (56), die in einer bezüglich der Strömung des Messgases im Hauptkanal (10) stromabwärtigen Kanalwand (54) des Gehäuses (26) ausgebildet sind und über die eine fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal (10) und dem Messgaskanal (18) besteht, bekannt.

Um die Probenahmeverrichtung unempfindlich gegen die Anwesenheit von Flüssigkeiten oder Feststoffen im Gasstrom zu machen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass eine radial begrenzende Außenwandfläche (48) der stromabwärtigen Kanalwand (54), in der die Öffnungen (56) ausgebildet sind, radial in Richtung des Messgaskanals (18) versetzt zu einer Abströmkante (46) angeordnet ist, welche die stromabwärtige Außenwandfläche (48) umgibt.

Fig. 1

## **Probenahmeverrichtung**

Die Erfindung betrifft eine Probenahmeverrichtung mit einem Hauptkanal, der von einem Messgas durchströmbar ist, einer Probenahmesonde, welche in den Hauptkanal ragt, wobei die Probenahmesonde ein Gehäuse mit Kanalwänden und einen im Innern des Gehäuses ausgebildeten und durch die Kanalwände begrenzten Messgaskanal aufweist, über den eine fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal und einem Sensor besteht, und mit zumindest einer oder mehreren Öffnungen, die in einer bezüglich einer Strömung des Messgases im Hauptkanal stromabwärtigen Kanalwand des Gehäuses ausgebildet sind und über die eine fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal und dem Messgaskanal besteht.

Probenahmeverrichtungen bestehen üblicherweise aus einem Kanal, durch den ein Gas strömt, was beispielsweise auch Partikel oder Flüssigkeitstropfen aufweisen kann, wie dies beispielsweise bei Abgas der Fall ist, welches Wasseranteile in Tropfenform und Rußpartikel aufweisen kann. Um aus einem solchen Gasstrom eine repräsentative Probe entnehmen zu können, werden Sonden verwendet, welche zumeist senkrecht in den Kanal ragen. Diese Sonden sind zumeist etwa zylindrisch ausgeführt und weisen Öffnungen auf, durch die das Probengas in einen Innenkanal der Sonde strömen kann, von wo aus es insbesondere über eine beheizte Leitung weiter zum eigentlichen Sensor gelangt. Diese Sensoren werden vor allem benutzt, um die Anwesenheit oder Konzentration bestimmter Gase im Mischgasstrom zu messen. So kann beispielsweise der Kohlenmonoxid-, Kohlendioxid- oder Stickoxid-Anteil im Abgas aber auch der Anteil nicht umgesetzten Ammoniaks gemessen werden. Solche Probenahmeverrichtungen können sowohl für die mobile Messung im Fahrzeug oder stationär an Prüfständen verwendet werden. Wenn Konzentrationsmessungen von Gasen vorgenommen werden sollen, ergibt sich häufig das Problem, dass Kondenswasser und/oder Kondensat von

Kraftstoff- und Ölrückständen an die Sensoren gelangt, wodurch die Messergebnisse verfälscht werden.

Aus diesem Grund wird in der DE 43 18 107 A1 eine Messfühleranordnung beschrieben, bei der der Sensor von einer Schutzhülse umgeben ist, welche als Probenahmesonde dient. Diese Sonde weist lediglich an der strömungsabgewandten Seite Öffnungen auf, durch die das Gas aus dem Hauptkanal in den Innenkanal der Sonde einströmen kann. Dies dient dazu, ein Eindringen von Kondenswasser in den Innenkanal zu verhindern, da dieses Wasser an der angeströmten Wand der Schutzhülse abgeführt werden soll.

Eine derartige Messfühleranordnung verbessert zwar die Stabilität und Güte der vorgenommenen Messungen, jedoch gelangen kleinere Tropfen aufgrund der Adhäsionskräfte zwischen den Tropfen und der Kanalwand der Sonde, insbesondere bei relativ geringen Strömungsgeschwindigkeiten im Messgaskanal, dennoch weiterhin, wenn auch in kleineren Mengen, in den Innenkanal und damit zum Sensor.

Es stellt sich daher die Aufgabe, eine Probenahmeverrichtung bereit zu stellen, mit der ein Eindringen von Kondenswasser oder festen Schmutzstoffen in einen Innenkanal einer Probenahmesonde bei der Entnahme eines Messgasstroms aus einem Hauptkanal zuverlässig verhindert werden kann, auch wenn eine Entnahme kontinuierlich erfolgt.

Diese Aufgabe wird durch eine Probenahmeverrichtung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs 1 gelöst.

Unter Probenahmeverrichtung wird in diesem Zusammenhang ein Bauteil verstanden, welches dazu dient, eine möglichst repräsentative Teilmenge eines Gasstroms zu entnehmen und einem Sensor zur Messung zuzuführen. Die erfindungsgemäße Probenahmeverrichtung weist einen Hauptkanal auf,

der von einem Messgas, insbesondere Abgas, durchströmbar ist, welches Flüssigkeiten wie Wasser, andere Kondensate oder auch Feststoffpartikel wie Ruß enthalten kann. In den Hauptkanal ragt eine Probenahmesonde, wobei unter Probenahmesonde ein länglicher Gegenstand mit einem Innenkanal verstanden wird, in welchen das Gas bzw. Messgas von außen einströmen kann, von wo aus es zum eigentlichen Sensor oder Messfühler gelangen kann, der beispielsweise zur Konzentrationsmessung eines bestimmten Bestandteils im Gasstrom dient. Dieser Sensor kann dabei beabstandet von der Probenahmesonde angeordnet sein und mit dieser beispielsweise über einen beheizten Kanal verbunden sein. Entsprechend weist die Probenahmesonde ein Gehäuse mit Kanalwänden auf, die einen im Innern des Gehäuses ausgebildeten Messgaskanal begrenzen, über den die fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal und dem Sensor besteht. Hierzu weist eine bezüglich der Strömung im Hauptkanal stromabwärtige Kanalwand Öffnungen auf, über die eine fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal und dem Messgaskanal hergestellt wird. Diese Öffnungen sind somit an einer bezüglich der Strömung des Messgases im Hauptkanal strömungsabgewandten Seite der Probenahmesonde ausgebildet. Dies bedeutet, dass die Probenahmesonde so in den Hauptkanal ragt, dass die Öffnungen strömungstechnisch beispielsweise zu einem Auslass weisen und somit nicht direkt angeströmt werden. Es wird in diesem Zusammenhang immer von einer gleichmäßigen Strömung ausgegangen, welche parallel zu einer Mittelachse des Hauptkanals vom Einlass zum Auslass erfolgt.

Erfindungsgemäß ist eine radial begrenzende Außenwandfläche der stromabwärtigen Kanalwand, in der die Öffnungen ausgebildet sind, zumindest abschnittsweise radial in Richtung des Messgaskanals versetzt zu einer Abströmkante angeordnet, welche die stromabwärtige Außenwandfläche umgibt. Mit anderen Worten ist entlang der Längserstreckung der Probenahmesonde in einer Richtung parallel einer Mittelachse des Messkanals zumindest ein Abschnitt der stromabwärtigen

Kanalwand, in der die Öffnungen ausgebildet sind, radial in Richtung des Messgaskanals versetzt zu einer Abströmkante angeordnet. Vorzugsweise umfasst der versetzte Abschnitt der stromabwärtigen Kanalwand zumindest den Bereich, in dem die Öffnungen ausgebildet sind. Somit ist die Außenwandfläche der die Öffnungen aufweisenden stromabwärtigen Kanalwand, radial in Richtung des Messgaskanals versetzt zu den sich an die Abströmkanten anschließenden Außenwandflächen ausgebildet. Dies bedeutet, dass die äußere radiale Fläche der Kanalwand mit den Öffnungen beziehungsweise Bohrungen einen geringeren Abstand zum Messgaskanal aufweist als eine sich in Umfangsrichtung an diese Außenwandfläche in Umfangsrichtung anschließende Außenwandfläche.

Anders ausgedrückt weist die Außenwandfläche der Kanalwand mit den Bohrungen einen Rücksprung auf beziehungsweise die Kanalwände weisen im Bereich der Bohrungen eine radial äußere Ausnehmung auf, die durch die Abströmkante radial begrenzt wird. Unter radial äußerer Fläche oder radial begrenzender Kanalwand wird in diesem Zusammenhang nicht zwangsweise eine Kreisfläche verstanden, sondern lediglich eine Fläche oder Wand, die in einer Richtung senkrecht zur Mittelachse nach außen von der Mittelachse aus betrachtet den Kanal beziehungsweise das Gehäuse begrenzt. Eine solche radiale Außenwandfläche kann somit weitestgehend beliebige Formen aufweisen.

Bei einer derartigen erfindungsgemäßen Probenahmeverrichtung gelangt somit das Messgas lediglich aus dem stromabwärtigen Bereich, also einem Bereich um die Probenahmesonde, in dem die mit Abstand geringsten Strömungsgeschwindigkeiten vorliegen, in den Messgaskanal. In diesen Totwasserbereich oder Windschattenbereich gelangen in der Regel die flüssigen oder festen und damit schwereren Komponenten des Messgases aufgrund der höheren Trägheit nicht, da sie einfach von der Strömung an der Abströmkante mitgerissen werden und somit nicht oder nur in geringen Mengen aus diesem Bereich in den Messgaskanal eingesaugt werden. Die

Wirkung der geringen im Windschatten der Probenahmesonde herrschenden Strömungsgeschwindigkeiten wird durch die Ausnehmung beziehungsweise den Versatz der Außenwandfläche mit den Öffnungen noch verstärkt, da beinahe eine 180°-Umlenkung für diese schwereren Teile notwendig wäre, um angesaugt zu werden. Entsprechend gelangen fast nur gasförmige Messgaskomponenten zum Sensor.

Auch die zunächst an den Außenflächen anhaftenden Tropfen reißen an der Abströmkante durch die Trägheit an der Abströmkante ab und gelangen so nicht in den Totwasserbereich. So werden noch einmal verbesserte Messergebnisse erreicht, da ein Signaldriften verringert wird, da das Messsystem und insbesondere der Sensor aufgrund geringerer Verschmutzung geschützt wird. Es können auch kürzere Heizleitungen verwendet werden, wodurch der Energieverbrauch der Probenahmeverrichtung gesenkt werden kann.

Vorzugsweise erstreckt sich die radial in Richtung des Messgaskanals versetzte strömungsabgewandte Außenwandfläche bezüglich einer Mittelachse des Messgaskanals in Umfangsrichtung über einen Winkel von maximal 150°. Mit anderen Worten ist der um die Mittelachse des Messgaskanals verlaufende Winkelbereich der versetzten Außenwandfläche kleiner als bzw. maximal 150°. So kann einerseits eine ausreichend große Anzahl an Öffnungen zur repräsentativen Probenahme zur Verfügung gestellt werden und andererseits ist es sichergestellt, dass die Öffnungen sich in einem Bereich mit ausreichend geringen Strömungsgeschwindigkeiten befinden, um sicherzugehen, dass keine Flüssigkeiten oder Feststoffe angesaugt werden. Die Erstreckung von 150° liegt symmetrisch zur Mittelachse des Hauptkanals vor, so dass der eingeschlossene Winkel beidseits zur Mittelachse des Hauptkanals jeweils maximal 75° beträgt. Besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn der gesamte Öffnungswinkel kleiner als 100° ist.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die stromabwärtige Außenwandfläche mit der Abströmkante über eine Verbindungsfläche miteinander verbunden, die im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse des Messgaskanals eine radiale Erstreckungskomponente und eine Erstreckungskomponente in Umfangsrichtung aufweist, wobei die Erstreckungskomponente in radialer Richtung größer ist als die Erstreckungskomponente in Umfangsrichtung. Somit wird sichergestellt, dass die Abströmkante als Abrisskante wirkt, an der Tropfen, die entlang einer Seitenfläche der Probenahmesonde bis zur Abströmkante gelangen, abreißen und mit der Hauptströmung mitgezogen werden und nicht entlang der Verbindungsfläche in Richtung der Außenfläche mit den Öffnungen gelangen.

Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse des Messgaskanals Verlängerungslinien der die stromabwärtige Außenwandfläche beiderseits begrenzenden Verbindungsflächen einen Schnittpunkt aufweisen, der einen größeren Abstand zu den Verbindungsflächen aufweist als die Mittelachse des Messgaskanals.

Vorzugsweise bilden in radialer Richtung von außen nach innen also zur Mittelachse des Messgaskanals betrachtet, die Verbindungsflächen einen Hinterschnitt. Das bedeutet, dass die Abströmkanten die Verbindungsflächen verdecken, so dass diese nicht sichtbar sind.

Insbesondere ist im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse zwischen den Verbindungsflächen und sich in Umfangsrichtung betrachtet an die Abströmkanten anschließenden Seitenflächen ein spitzer Winkel gebildet. Es wird somit eine scharfe Abströmkante erzeugt, so dass deren Funktion als Abrisskante sichergestellt wird. An dieser Position wäre eine sehr starke Umlenkung für den Gasstrom oder die darin enthaltenen Tropfen erforderlich, um in das Innere des Messgaskanals zu gelangen. Dies ist aufgrund der Trägheit vor allem für größere Partikel und Tropfen nicht zu

erwarten. Hinzu kommt, dass durch diese scharfe Ausbildung der Abströmkante auch die Adhäsionskräfte an dieser Stelle durch die kleinere zur Verfügung stehende Fläche verringert werden, was ein Abreißen der Tropfen von der Abströmkante ebenfalls unterstützt.

Vorzugsweise weist die Probenahmesonde eine strömungszugewandte Anströmfläche auf, welche im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse des Messgaskanals nach außen gewölbt ausgebildet ist. Mit anderen Worten ist die Anströmfläche hinsichtlich der Mittelachse des Messgaskanals nach außen gewölbt ausgebildet. Auf diese Weise wird der Strömungswiderstand verringert, da die Strömung allmählich umgelenkt wird. Dennoch bildet diese Anströmfläche eine Prallfläche, an der größere Tropfen zerschellen.

In einer hierzu weiterführenden Ausbildung erstreckt sich die Anströmfläche bezüglich der Mittelachse des Messgaskanals in Umfangsrichtung über einen Winkel von  $30^\circ$  bis  $50^\circ$ . So bleibt die Prallfläche ausreichend klein, um keinen zu großen Strömungswiderstand zu bilden.

In einer bevorzugten Ausbildung erstreckt sich im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse beidseits des Messgaskanals jeweils eine planare Seitenfläche von der jeweiligen Anströmfläche zur folgenden Abströmkante. Flüssigkeitstropfen gleiten an dieser Seitenfläche beinahe ohne Strömungswiderstand entlang. Hierbei können sich größere Tropfen mit größerer Trägheit bilden, welche dann aufgrund dieser Trägheit von der Abströmkante abreißen und mit dem Strom mitgerissen werden.

Um diesen Strömungswiderstand gering zu halten und keine größeren Aufprallflächen auszubilden, sind die beiden planaren Seitenflächen in einem Querschnitt senkrecht zur Mittelachse in einem Winkel von  $30^\circ$  bis  $65^\circ$  zueinander angeordnet.

In einer hierzu alternativen Ausführungsform erstreckt sich von der Anströmfläche beidseits jeweils eine erste planare Seitenfläche bis zu jeweils einer Strömungskante, bis zu denen sich in Strömungsrichtung betrachtet das Gehäuse erweitert und von denen aus sich jeweils eine zweite Seitenfläche jeweils bis zu der Abströmkante erstreckt, bis zu denen sich das Gehäuse in Strömungsrichtung betrachtet von der Strömungskante aus verjüngt. Die Strömungskanten bilden in dieser Ausführung vorgelagerte Abrisskanten, welche am Ort höchster Strömungsgeschwindigkeiten ausgebildet sind. Somit gelangt lediglich ein Teil der Flüssigkeit auch zur hinteren Abströmkante. So wird ein zweistufiges Abscheiden der Flüssigkeit erreicht.

Vorzugsweise sind die Strömungskanten in Strömungsrichtung des Hauptkanals betrachtet in Höhe der Mittelachse des Messgaskanals angeordnet. So kann die Baugröße der Sonde minimiert werden, wodurch Kosten reduziert werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erstreckt sich die Probenahmesonde senkrecht, vorzugsweise senkrecht hinsichtlich einer im Hauptkanal fließenden Strömung, in den Hauptkanal und die radial begrenzende Außenwandfläche der stromabwärtigen Kanalwand, in der die Öffnungen ausgebildet sind, erstreckt sich von einer Innenwand des Hauptkanals zumindest bis zu einer Mittelachse des Hauptkanals. So wird eine repräsentative Probenahme ermöglicht, da sich in einem zylindrischen Kanal üblicherweise ein achssymmetrisches Strömungsprofil ergibt, so dass eine Probenahme über den gesamten Radius und auf gleicher Lauflänge zu repräsentativen Ergebnissen führt.

Die Öffnungen sind vorzugsweise in mehreren gleichmäßig beabstandeten Reihen in axialer Richtung betrachtet übereinander angeordnet. Unter axialer Richtung ist hier eine Richtung entlang der Mittelachse des Messgaskanals zu verstehen. Das in den Messgaskanal eingesaugte

Messgas entspricht so aufgrund des achssymmetrischen Strömungsprofil einer repräsentativen Probe. Dennoch bleibt die Herstellung einfach.

Bevorzugt sind in jeder Reihe drei bis sechs Öffnungen ausgebildet, wobei drei bis zehn Reihen Öffnungen übereinander ausgebildet werden. Auf diese Weise kann auch bei kleinen Öffnungsdurchmessern ein ausreichender Messgasstrom im Messgaskanal erzielt werden.

Dabei entspricht der Abstand zwischen den Reihen dem Drei- bis Fünffachen des Durchmessers einer Öffnung. So werden eine gute Herstellbarkeit und Festigkeit erreicht.

In einer besonders bevorzugten Ausbildung der Erfindung weist jede Öffnung einen Durchmesser von 0,5 mm bis 1mm, vorzugsweise von 0,8 mm, auf. Durch diese sehr kleinen Bohrungen werden große Tropfen oder auch ein kleinerer Verbrennungswasserschwall, wie er nach dem Kaltstart vorkommen kann, wenn er trotz der genannten Vorkehrungen angesaugt wird, in kleine Mengen unterteilt, die im Folgenden leicht in einer kurzen Heizleitung verdampft werden können. Auch ist ein Eindringen durch diese Öffnungen sehr unwahrscheinlich, da sich durch die Oberflächenspannungen bei Flüssigkeiten zumeist Tropfengrößen ergeben, die größer sind als der Öffnungsdurchmesser, wodurch ein Ansaugen zusätzlich erschwert wird. Um dennoch in den Messgaskanal einzudringen, müssen diese Tropfen entsprechend zerstäubt werden.

Vorzugsweise entspricht der Gesamtquerschnitt aller Öffnungen dem Querschnitt des Messgaskanals, wodurch der Strömungswiderstand konstant gehalten wird und so der Druckverlust reduziert wird.

Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn die Öffnungen in Umfangsrichtung einen Abstand zu den Verbindungsflächen aufweisen, der mindestens dem Durchmesser der Öffnungen entspricht. Auf diese Weise wird ein Abstand

zu den Abströmkanten hergestellt, der die Wahrscheinlichkeit eines unerwünschten Einsaugens noch einmal reduziert.

Vorzugsweise erstreckt sich die radial in Richtung des Messgaskanals versetzte Außenwandfläche der stromabwärtigen Kanalwand, in der die Öffnungen ausgebildet sind, bis an ein in den Hauptkanal weisendes Ende der Probenahmesonde. So wird ein Ansammeln von Flüssigkeit im unteren Bereich der Probenahmesonde an einer sonst vorhandenen Kante zwischen der zurückversetzten Außenwandfläche und der umgebenden Abströmkante verhindert. Stattdessen wird die Flüssigkeit über das axiale Ende der Probenahmesonde abgeleitet.

In einer bevorzugten Ausführung ist das in den Hauptkanal weisende Ende der Probenahmesonde an der strömungsabgewandten Seite länger ausgebildet als an der strömungszugewandten Seite. Insbesondere ist die längere strömungsabgewandte Seite über eine Schräge mit der strömungszugewandten Seite verbunden, wobei zwischen der Schräge und der Mittelachse des Messgaskanals ein Winkel von  $20^\circ$  bis  $70^\circ$ , vorzugsweise  $60^\circ$  eingeschlossen ist. So wird ein weiteres Ablenken von Flüssigkeitstropfen, die auf die strömungszugewandte Seite treffen und von dort zur strömungsabgewandten Seite strömen, nach unten erreicht, wo sie durch den Gasstrom abgeführt werden, da auch hier eine scharfe Kante geschaffen wird, die als Abrisskante dient.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn das in den Hauptkanal ragende axiale Ende der strömungszugewandten Seite der Probenahmesonde einen kleineren axialen Abstand zum in den Hauptkanal ragenden axialen Ende der strömungsabgewandten Seite aufweist als die Öffnungen. So wird verhindert, dass Tropfen von der strömungszugewandten Seite dennoch vom unteren Rand zu den Öffnungen gelangen können.

Es wird somit eine Probenahmeverrichtung zur Verfügung gestellt, mit der die Sensoren beziehungsweise die verwendete Optik zuverlässig vor Schäden oder Ergebnisverfälschungen aufgrund von Verschmutzungen oder Flüssigkeitsanlagerungen geschützt werden, indem ein Eindringen von Flüssigkeiten und Partikeln in den Messgaskanal zuverlässig verhindert wird.

Nicht einschränkende Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Probenahmeverrichtung sind in den Figuren dargestellt und werden im Folgenden am Beispiel einer Probenahme aus einem Abgaskanal beschrieben.

Figur 1 zeigt eine Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Probenahmeverrichtung, mit aufgeschnitten dargestelltem Hauptkanal.

Figur 2 zeigt einen Querschnitt durch die Probenahmesonde der erfindungsgemäßen Probenahmeverrichtung aus Figur 1 in geschnittener Darstellung senkrecht zur Mittelachse der Probenahmesonde.

Figur 3 zeigt eine zu Figur 2 alternative Probenahmesonde einer erfindungsgemäßen Probenahmeverrichtung in geschnittener Darstellung senkrecht zur Mittelachse der Probenahmesonde.

Figur 4 zeigt eine Seitenansicht der alternativen erfindungsgemäßen Probenahmeverrichtung aus Figur 3.

Die erfindungsgemäße Probenahmeverrichtung weist einen durchströmten Hauptkanal 10 auf, der beispielweise von einem Abgas durchströmt wird und durch ein Gehäuse 12 begrenzt ist. In den Hauptkanal 10 ragt durch eine Gehäusebohrung 14 eine Probenahmesonde 16, die am Gehäuse 12 befestigt ist und deren innerer Messgaskanal 18 im dargestellten Ausführungsbeispiel fluidisch über eine Heizleitung 20 mit einem Sensor 22

verbunden ist, der beispielsweise zur Messung einer Ammoniakkonzentration im Abgasstrom dient. Auch die Verwendung einer nicht-beheizten Leitung zwischen innerem Messgaskanal 18 und Sensor 22 ist möglich. Der Sensor 22 kann dabei Teils eines Messgeräts mit zusätzlicher Sensorik bzw. Funktionalität ausgeführt sein, was hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist.

Zur Probenahme ragt die Probenahmesonde 16 senkrecht – insbesondere senkrecht zu einer Mittelachse 27 des Hauptkanals 10 und/oder senkrecht zur Strömungsrichtung des sich im Hauptkanal 10 bewegenden Ab- bzw. Messgases – in den Hauptkanal 10 und erstreckt sich von einer Innenwand 24 zumindest bis zur Mittelachse 27 des Hauptkanals 10. Wenn im Hauptkanal 10 keine symmetrische Strömung vorherrscht, sollte die Probenahmesonde 16 so weit in den Hauptkanal 10 hineinragen, dass die Gasentnahme auf 80 Prozent des Durchmessers des Hauptkanals 10 erfolgt.

Die Probenahmesonde 16 weist ein Gehäuse 26 auf, welches aus den Messgaskanal 18 radial begrenzenden Kanalwänden 28 sowie – im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 – einem das am weitesten in den Hauptkanal 10 ragende Ende des Messgaskanals 18 verschließenden Kugelkörper 30 besteht.

Die Probenahmesonde 16 weist eine strömungszugewandte Seite 32, die zum hinsichtlich der Probenahmesonde 16 stromaufwärtigen Bereich des Hauptkanals 10 weist, und eine strömungsabgewandte Seite 34 auf, die zum strömungsabwärtigen Bereich des Hauptkanals 10 weist.

An der strömungszugewandten Seite 32 weist die Probenahmesonde 16 eine Anströmfläche 36 auf, die als konvexe, also aus Sicht des Messgaskanals nach außen gewölbte Fläche ausgebildet ist und sich bezüglich einer Mittelachse 38 des Messgaskanals 18 als Kreisbogen über

einen Winkel von etwa  $35^\circ$  erstreckt, wie in Fig. 2 zu erkennen ist. An diese Anströmfläche 36 schließt sich in Umfangsrichtung betrachtet außen jeweils eine planar ausgebildete erste Seitenfläche 40 an. Die beiden ersten Seitenflächen 40 schließen zueinander einen Winkel von etwa  $70^\circ$  ein und enden jeweils an einer Strömungskante 42, die sich vorzugsweise in Strömungsrichtung des Hauptkanals 10 betrachtet auf der gleichen Strömungslauflänge befinden wie die Mittelachse 38 des Messgaskanals 18. In Strömungsrichtung des Hauptkanals ergibt sich durch diese ersten Seitenflächen 40 eine Querschnittserweiterung der Probenahmesonde 16.

Von jeder der Strömungskanten 42 aus erstreckt sich jeweils eine zweite Seitenfläche 44, jedoch derart, dass diese in Strömungsrichtung betrachtet zu einer Querschnittsverminderung der Probenahmesonde 16 führt. Die zweiten Seitenflächen 44 enden an einer Abströmkante 46.

Diese umgibt eine stromabwärtige, das Gehäuse 26 nach hinten radial begrenzende Außenwandfläche 48, welche einen geringeren radialen Abstand zur Mittelachse 38 aufweist als die Abströmkanten 46, welche mit der stromabwärtigen Außenwandfläche 48 über eine Verbindungsfläche 50 verbunden sind. Entsprechend wird eine Ausnehmung an der stromabwärtigen Kanalwand 28 gebildet, welche durch die Abströmkante 46 begrenzt wird. Die stromabwärtig nach innen versetzte Außenwandfläche erstreckt sich in Umfangsrichtung über einen Winkel von etwa  $80^\circ$ . Die Verbindungsflächen 50 schließen dabei mit den angrenzenden zweiten Seitenwandflächen 44 in einem Querschnitt senkrecht zur Mittelachse 38 des Messgaskanals 18 einen Winkel von etwa  $55^\circ$  ein.

Bei rein radialer Blickrichtung zur Mittelachse 38 ergibt sich so im Querschnitt zur Mittelachse 38 ein Hinterschnitt 52 von der Abströmkante 46 zur zurückversetzten Außenwandfläche 48. Dies bedeutet, dass in dieser Blickrichtung die gesamte Verbindungsfläche 50

durch die Abströmkante 46 beziehungsweise die daran angrenzende Seitenfläche 44 verdeckt ist.

In einer stromabwärtigen Kanalwand 54, welche radial nach außen durch die Außenwandfläche 48 begrenzt ist und entsprechend axial und in Umfangsrichtung durch die Verbindungsflächen 50 begrenzt ist, sind Öffnungen 56 in Form von Bohrungen ausgebildet, über die der stromabwärtige Bereich des Hauptkanals 10 mit dem Messgaskanal 18 im Innern der Probenahmesonde 16 verbunden ist, so dass Messgas zum Sensor 22 gelangen kann. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in den Figuren nur einige Öffnungen 56 mit Bezugszeichen versehen.

In Figur 3 ist eine alternative Ausführung einer erfindungsgemäßen Probenahmesonde 16 dargestellt, wobei gleiche Teile mit gleichen Bezugsziffern versehen sind. Diese unterscheidet sich vor allem durch andere gewählte Winkel zwischen den begrenzenden Außenflächen im Querschnitt zur Mittelachse 38 des Messgaskanals 18.

Insbesondere weist diese Probenahmesonde 16 gemäß den Figuren 3 und 4 im Anschluss an die Anströmfläche 36 beidseits je eine vollständig planare Seitenfläche 58 auf, die sich bis zur Abströmkante 46 erstreckt, so dass die vorgelagerte Strömungskante 42 entfällt. Die Winkel der beiden planaren Seitenflächen 58 zueinander beträgt in dieser Ausführung etwa  $62,5^\circ$ . Auch ergibt sich hierdurch ein spitzer Winkel von etwa  $30^\circ$  an der Abströmkante 46 zwischen der planaren Seitenfläche 58 und der angrenzenden Verbindungsfläche 50.

Während in der Version gemäß Figur 1 und 2 sechs Reihen mit jeweils vier nebeneinander liegenden Öffnungen 56 ausgebildet sind, deren Durchmesser jeweils etwa 0,8mm beträgt, sind in der Version gemäß den Figuren 3 und 4 zehn übereinander angeordnete Reihen mit jeweils drei Öffnungen vorhanden. In weiteren, nicht dargestellten Varianten,

insbesondere für die Verwendung bei Großmotoren, kann auch eine größere Anzahl von Reihen und/oder Öffnungen 56 vorgesehen sein. Der Gesamtquerschnitt aller Öffnungen 56 entspricht vorzugsweise zumindest dem Durchströmungsquerschnitt des Messgaskanals 18. Die Reihen sind jeweils gleichmäßig beabstandet zueinander und sind in den dargestellten Ausführungsbeispielen so angeordnet, dass die am weitesten in den Hauptkanal 10 ragende Reihe etwa im Bereich der Mittelachse 27 des Hauptkanals 10 liegt. In anderen, nicht dargestellten Ausführungen kann die Probenahmesonde 16 weiter in den Hauptkanal 10 hineinragen, so dass sich auch die Reihen an Öffnungen 56 beiderseits der Mittelachse 27 befinden.

Der Öffnungswinkel der Version mit den vier nebeneinanderliegenden Öffnungen 56, deren Mittelachsen sich alle an der Mittelachse 38 des Messgaskanals 18 schneiden, beträgt zwischen den Mittelachsen der äußeren beiden Öffnungen 56 etwa  $75^\circ$ , bei der Version mit drei Öffnungen 56 etwa  $70^\circ$ . Dies führt auch dazu, dass in der zweiten Version gemäß Fig. 3 ein größerer Abstand zu den Verbindungsflächen 50 vorhanden ist, durch den ein unerwünschtes Ansaugen von Flüssigkeit reduziert wird.

Am in den Hauptkanal 10 ragenden Ende 60 der Probenahmesonde 16 gemäß Figur 4 ist eine Schräge 62 ausgebildet, so dass die strömungsabgewandte Seite 34 der Probenahmesonde 16 länger ist als die strömungszugewandte Seite 32. Die untere Reihe an Öffnungen 56 weist einen größeren Abstand zum Ende der stromabwärtigen Seite 34 auf als das Ende der strömungszugewandten Seite 32.

Das Messgas durchströmt zunächst den Hauptkanal 10. Das entstehende Strömungsprofil ist dabei üblicherweise etwa symmetrisch zur Mittelachse 27 ausgebildet. Im Bereich der Probenahmesonde 16 trifft es zunächst auf die Anströmfläche 36 beziehungsweise auf die

Seitenflächen 40, 58 und wird sanft aufgrund der Wölbung umgelenkt. Im Messgas enthaltene Flüssigkeit wird durch den Strömungsverlauf entweder an der Probenahmesonde 16 vorbeigeleitet oder trifft auf die Probenahmesonde 16 auf und fließt bzw. gleitet – gegebenenfalls in Tropfenform – entlang der Anströmfläche 36 und den Seitenflächen 40, 58. Bei der Ausführungsform gemäß der Figuren 1 und 2 wird das Messgas nach außen gedrängt und die Flüssigkeit gleitet entlang der ersten Seitenfläche 40 bis zur Strömungskante 42. Ein großer Teil der Flüssigkeit wird von hier vom Gehäuse 26 abgerissen und strömt in Entfernung zur Probenahmesonde 16 an dieser vorbei. Der Rest strömt weiter entlang der zweiten Seitenfläche 44 bis zur Abströmkante 46. Aufgrund der dort vorhandenen Umlenkung an der Oberfläche reißt die vorhandene Flüssigkeit hier erneut ab. Gleiches gilt auch für die Version gemäß Figur 3. Hier herrscht an der planaren Seitenfläche 58 eine noch höhere Geschwindigkeit, so dass die Trägheit eine noch größere Wirkung hat und die Tropfen an der Abströmkante 46 abgerissen werden.

Selbst wenn aufgrund auftretender Turbulenzen durch einen Wirbel Flüssigkeit in den strömungsabgewandten Bereich 34 der Probenahmesonde 16, in dem sehr geringe Strömungsgeschwindigkeiten vorliegen, gelangen sollte, wird dieses normalerweise nicht zu den Öffnungen 56 gelangen, da es hierzu fast eine 180° Umlenkung erfahren müsste. Entsprechend wird der weit überwiegende Teil an Flüssigkeit weder über die begrenzenden Außenwandflächen 48 beziehungsweise Seitenflächen 40, 44, 58 und Verbindungsflächen 50 noch über den Gasstrom zu den Öffnungen 56 gelangen. Sollte dennoch ein Tropfen den Weg zu einer Öffnung 56 finden, wird dieser aufgrund des sehr geringen Durchmessers entweder gar nicht eingesaugt oder zumindest deutlich zerstäubt werden, so dass er in der folgenden Heizleitung 20 vollständig verdampft werden kann. Die Probenahme erfolgt auch repräsentativ, da die Öffnungen 56 gleichmäßig über das gesamte symmetrische Strömungsprofil

angeordnet sind, da die Öffnungen 56 auch bis zur Mittelachse 27 des Hauptkanals 10 angeordnet sind.

Bei der Version gemäß den Figuren 3 und 4 wird zusätzlich verhindert, dass Flüssigkeitstropfen sich an einer unteren Kante zwischen der radial in Richtung des Messgaskanals 18 versetzten Außenwandfläche 48 und der Abströmkante 46 sammeln, da in diesem unteren Bereich keine Abströmkante 46 ausgebildet wird, sondern sich die zurückversetzte Außenwandfläche 48 bis an das axiale Ende 60 der Probenahmesonde 16 erstreckt. Dennoch wird durch die ausgebildete Schräge 62 auch im unteren Bereich eine Abrisskante 64 zur Verfügung gestellt.

Entsprechend wird der Sensor 22 vor Flüssigkeitsanlagerungen zuverlässig geschützt. Auch das Eindringen von Feststoffen wird verhindert. Auf diese Weise werden über einen langen Zeitraum sehr exakte Messergebnisse erreicht, da ein Signaldriften oder eine Messwertverfälschung durch Flüssigkeitsansammlungen zuverlässig vermieden werden.

Es sollte deutlich sein, dass die erfindungsgemäße Probenahmeverrichtung in ihrer konstruktiven Ausgestaltung im Vergleich zu den beschriebenen Ausführungsformen veränderbar ist. Insbesondere die Winkel zwischen den verschiedenen begrenzenden Außenflächen und deren Erstreckung in Umfangsrichtung kann zu den jeweils herrschenden Bedingungen bezüglich der herrschenden Strömungsprofile optimiert werden. Des Weiteren wäre es denkbar, dass sich die Probenahmesonde 16 beispielweise über den gesamten Durchmesser des Hauptkanals 10 erstreckt.

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Probenahmevorrichtung mit einem Hauptkanal (10), der von einem Messgas durchströmbar ist, einer Probenahmesonde (16), welche in den Hauptkanal (10) ragt, wobei die Probenahmesonde (16) ein Gehäuse (26) mit Kanalwänden (28, 54) und einen im Innern des Gehäuses (26) ausgebildeten und durch die Kanalwände (28, 54) begrenzten Messgaskanal (18) aufweist, über den eine fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal (10) und einem Sensor (22) besteht, und mit zumindest einer oder mehreren Öffnungen (56), die in einer bezüglich einer Strömung des Messgases im Hauptkanal (10) stromabwärtigen Kanalwand (54) des Gehäuses (26) ausgebildet sind und über die eine fluidische Verbindung zwischen dem Hauptkanal (10) und dem Messgaskanal (18) besteht,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** eine radial begrenzende Außenwandfläche (48) der stromabwärtigen Kanalwand (54), in der die Öffnungen (56) ausgebildet sind, zumindest abschnittsweise radial in Richtung des Messgaskanals (18) versetzt zu einer Abströmkante (46) angeordnet ist, welche die stromabwärtige Außenwandfläche (48) umgibt.
2. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** sich die radial in Richtung des Messgaskanals (18) versetzte Außenwandfläche (48) bezüglich einer Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) in Umfangsrichtung über einen Winkel von maximal 150° erstreckt.
3. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

die stromabwärtige Außenwandfläche (48) mit der Abströmkante (46) über eine Verbindungsfläche (50) miteinander verbunden ist, die im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) eine radiale Erstreckungskomponente und eine Erstreckungskomponente in Umfangsrichtung aufweist, wobei die Erstreckungskomponente in radialer Richtung größer ist als die Erstreckungskomponente in Umfangsrichtung.

4. Probenahmeverrichtung nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) Verlängerungslinien der die stromabwärtige Außenwandfläche (48) beiderseits begrenzenden Verbindungsflächen (50) einen Schnittpunkt aufweisen, der einen größeren Abstand zu den Verbindungsflächen (50) aufweist als die Mittelachse (38) des Messgaskanals (18).
5. Probenahmeverrichtung nach Anspruch 3 oder 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
in radialer Richtung von außen nach innen in Richtung der Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) betrachtet, die Verbindungsflächen (50) einen Hinterschnitt (52) bilden.
6. Probenahmeverrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) zwischen den Verbindungsflächen (50) und sich in Umfangsrichtung betrachtet an die Abströmkanten (46) anschließenden Seitenflächen (44, 58) ein spitzer Winkel gebildet ist.
7. Probenahmeverrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Probenahmesonde (16) eine strömungszugewandte Anströmfläche (36) aufweist, welche im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) nach außen gewölbt ausgebildet ist.

8. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sich die Anströmfläche (36) bezüglich der Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) in Umfangsrichtung über einen Winkel von 30° bis 50° erstreckt.
9. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 7 oder 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sich im Querschnitt senkrecht zur Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) beidseits des Messgaskanals (18) jeweils eine planare Seitenfläche (58) von der jeweiligen Anströmfläche (36) zur folgenden Abströmkante (46) erstreckt.
10. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die beiden planaren Seitenflächen (58) in einem Querschnitt senkrecht zur Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) in einem Winkel von 30° bis 65° zueinander angeordnet sind.
11. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 7 oder 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sich von der Anströmfläche (36) beidseits jeweils eine erste planare Seitenfläche (40) bis zu jeweils einer Strömungskante (42) erstreckt, bis zu denen sich in Strömungsrichtung betrachtet das Gehäuse (26) erweitert und von denen aus sich jeweils eine zweite Seitenfläche (44) jeweils bis zu der Abströmkante (46) erstreckt, bis zu denen sich das Gehäuse (26) in Strömungsrichtung betrachtet von der Strömungskante (42) aus verjüngt.

12. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Strömungskanten (42) in Strömungsrichtung des Hauptkanals (10) betrachtet in Höhe der Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) angeordnet sind.
13. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sich die Probenahmesonde (16) senkrecht in den Hauptkanal (10) erstreckt und sich die stromabwärtige Kanalwand (54), in der die Öffnungen (56) ausgebildet sind, von einer Innenwand (24) des Hauptkanals (10) zumindest bis zu einer Mittelachse (27) des Hauptkanals (10) erstreckt.
14. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Öffnungen (56) in mehreren gleichmäßig beabstandeten Reihen in axialer Richtung betrachtet übereinander angeordnet sind
15. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
in jeder Reihe drei bis sechs Öffnungen (56) ausgebildet sind.
16. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
drei bis zehn Reihen Öffnungen (56) übereinander ausgebildet sind.
17. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zwischen den Reihen ein Abstand ausgebildet ist, der dem Drei- bis Fünffachen des Durchmessers einer Öffnung (56) entspricht.

18. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Öffnung (56) einen Durchmesser von 0,5 mm bis 1 mm, vorzugsweise von 0,8 mm, aufweist.
19. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gesamtquerschnitt aller Öffnungen (56) dem Querschnitt des Messgaskanals (18) entspricht.
20. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen (56) in Umfangsrichtung einen Abstand zu den Verbindungsflächen (50) aufweisen, der mindestens dem Durchmesser der Öffnungen (56) entspricht.
21. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die radial in Richtung des Messgaskanals (18) versetzte Außenwandfläche (48) der stromabwärtigen Kanalwand (54), in der die Öffnungen (56) ausgebildet sind, bis an ein in den Hauptkanal (10) weisendes Ende (60) der Probenahmesonde (16) erstreckt.
22. Probenahmevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das in den Hauptkanal (10) weisende Ende (60) der Probenahmesonde (16) an der strömungsabgewandten Seite (34) länger ausgebildet ist als an der strömungszugewandten Seite (32).
23. Probenahmevorrichtung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass**

die längere strömungsabgewandte Seite (34) über eine Schräge (62) mit der strömungszugewandten Seite (32) verbunden ist, wobei zwischen der Schräge (62) und der Mittelachse (38) des Messgaskanals (18) ein Winkel von  $20^\circ$  bis  $70^\circ$ , vorzugsweise  $60^\circ$  eingeschlossen ist.

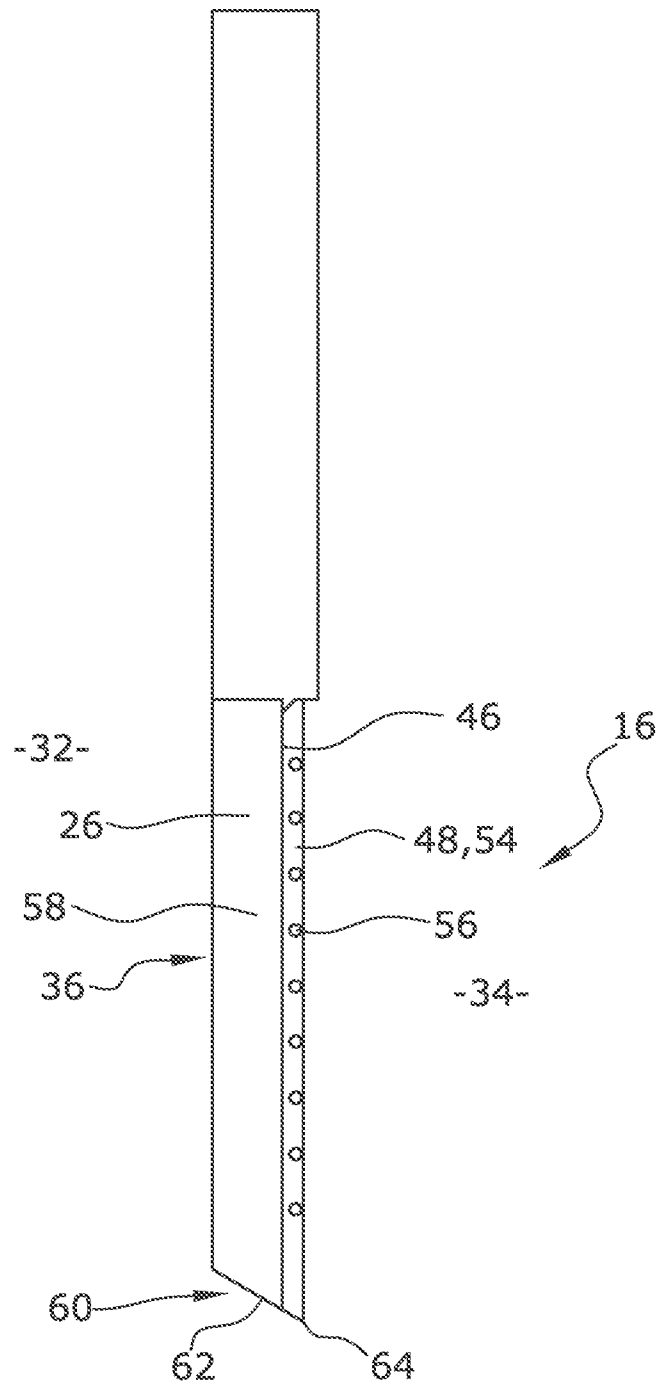
24. Probenahmeverrichtung nach Anspruch 22 oder 23,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das in den Hauptkanal (10) ragende axiale Ende der strömungszugewandten Seite (32) der Probenahmesonde (16) einen kleineren axialen Abstand zum in den Hauptkanal (10) ragenden axialen Ende der strömungsabgewandten Seite (34) aufweist als die Öffnungen (56).







**Fig.4**