

# Volumenstrommessung in Kapillaren mit einem optischen Sensor

Ralf Müller<sup>1</sup>, Dieter Petrak<sup>2</sup>, Olaf Brodersen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Erfurt, Konrad-Zuse-Straße 14, rmueller@cismst.de

<sup>2</sup> Ingenieurbüro FlowSensor GbR, Weimar, Wassily-Kandinsky-Straße 4, dek.petrak@t-online.de

## Einleitung

Für die Erzeugung von metallisierten Mikrostrukturen in elektrochemischen Anlagen ist es wichtig, den konvektiven Stoffaustausch in diesen Mikrostrukturen (z. B. Bohrungen) zu kennen. Der gewählte Lösungsansatz besteht darin, einen „faserfreien“ (Verzicht auf Lichtwellenleiter) integrierten optischen Durchflussmesser auf Basis der Ortsfiltertechnik, der bei frei angeströmten Mikrostrukturen in prozesstechnischen Anlagen eingesetzt werden kann, zu realisieren. Grundlage dafür ist die Verwendung von Tracerpartikeln.

## Messprinzip

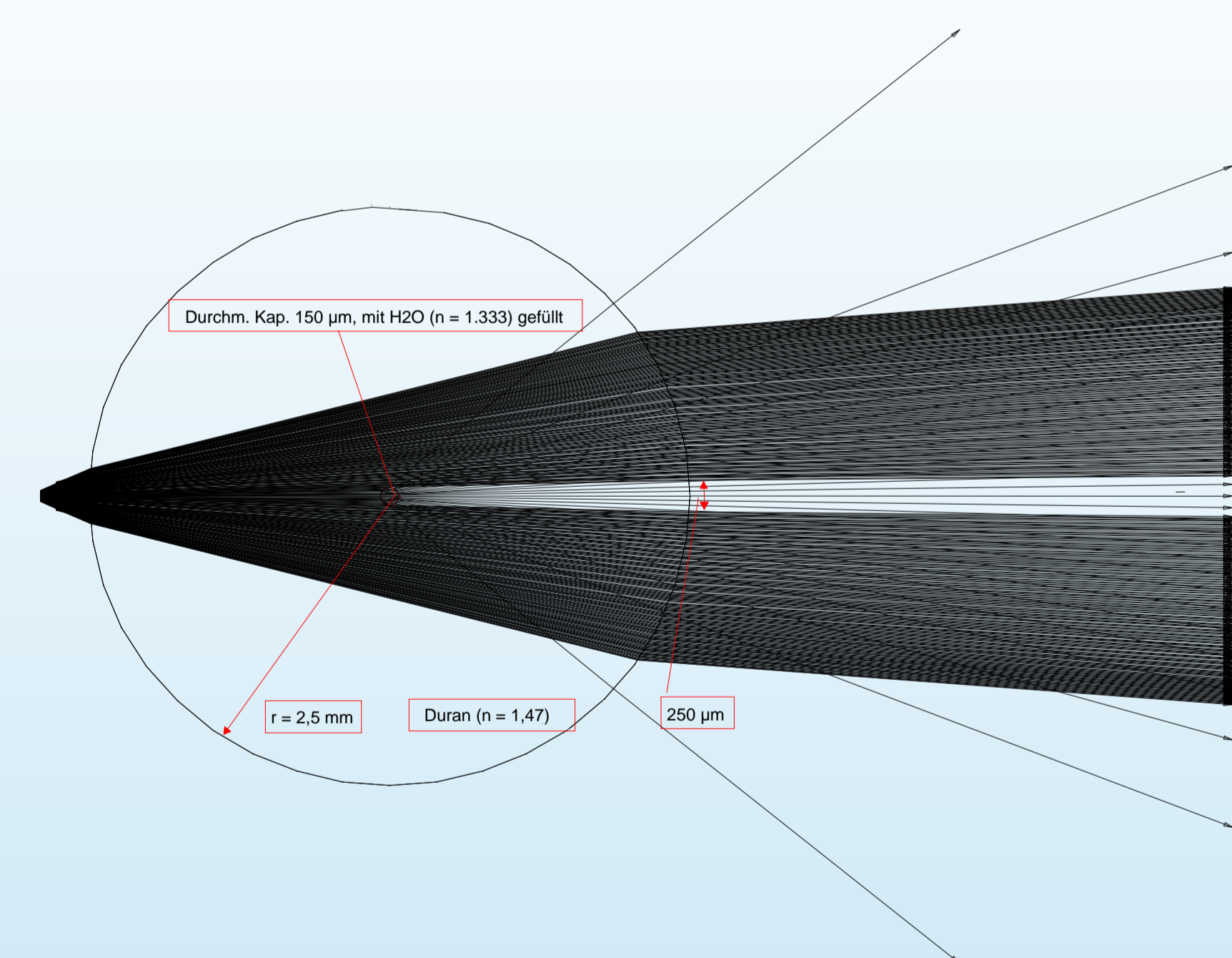
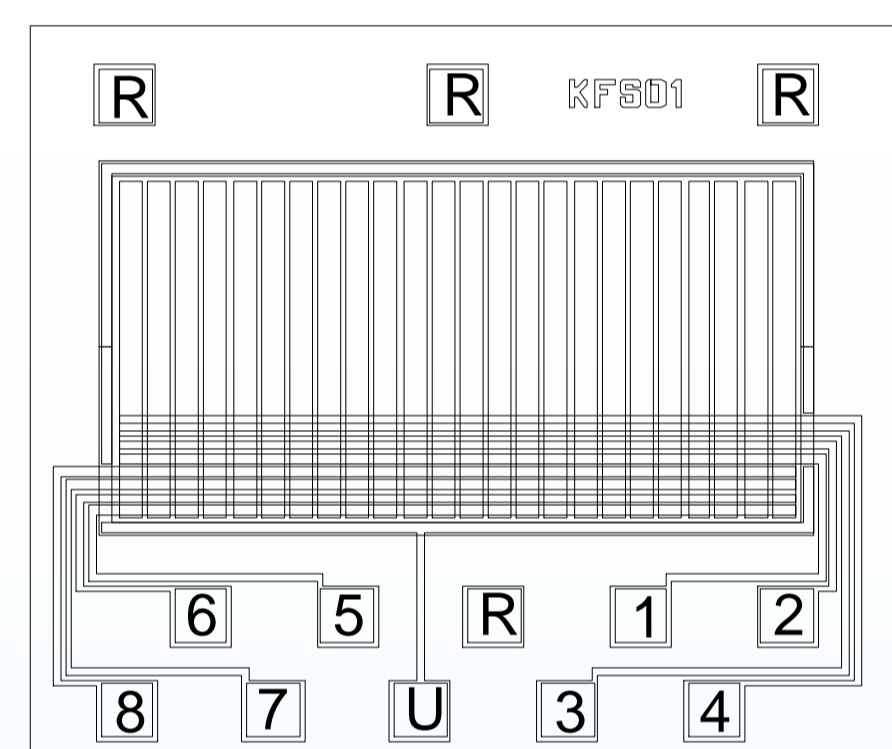
Die Bestimmung des Volumenstroms  $q_V$  nutzt das für laminare Rohrströmungen Newtonscher Flüssigkeiten bekannte Ergebnis, nach dem die Geschwindigkeit  $U_{max}$  in der Rohrmitte gleich der doppelten mittleren Geschwindigkeit  $u_m$  ist. Bei bekannter Rohrquerschnittsfläche ist der Volumenstrom gleich dem Produkt aus mittlerer Geschwindigkeit  $u_m$  und Rohrquerschnittsfläche. Voraussetzung dabei ist die vollständige Ausbildung des laminaren Strömungsprofils.  $U_{max}$  wird mit einem optoelektronischen Ortsfrequenzfilter (Ortsfilter) bestimmt. In der Flüssigkeit sind Tracerpartikel enthalten, deren Geschwindigkeiten  $U$  mit Hilfe dieses optischen Ortsfilters gemessen werden. Dazu werden die Tracerpartikel mit einem Laser beleuchtet, so dass der Partikelschatten auf den optischen Ortsfilter fällt. Der unmittelbar an der Außenwand der Kapillare angeordnete Ortsfilter ist ein differentieller Ortsfilter, der aus zwei identischen Ortsfiltern besteht, die um die halbe Ortsfilterkonstante  $g$  verschoben sind.

Die Geschwindigkeiten  $U$  und damit auch  $U_{max}$  ergibt sich aus: 
$$U = \frac{g}{T} \quad (1)$$

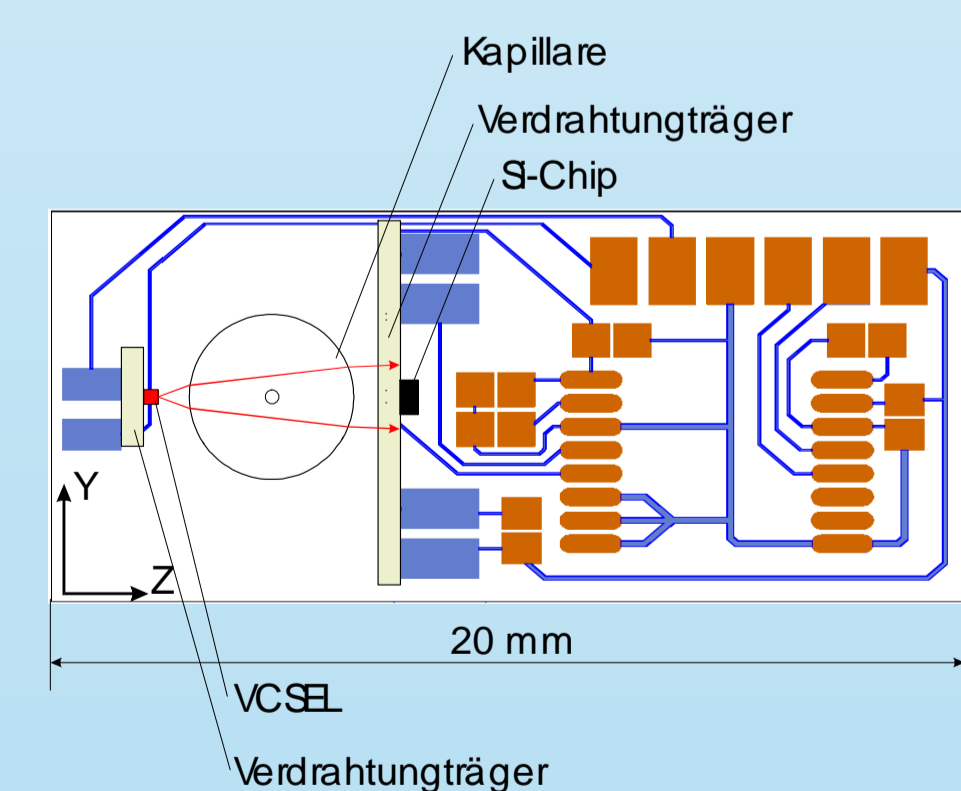
wobei  $T$  die Periodendauer für das Differenzsignal der beiden Ortsfilter beim Partikeldurchgang ist.

## Aufbau des Sensors

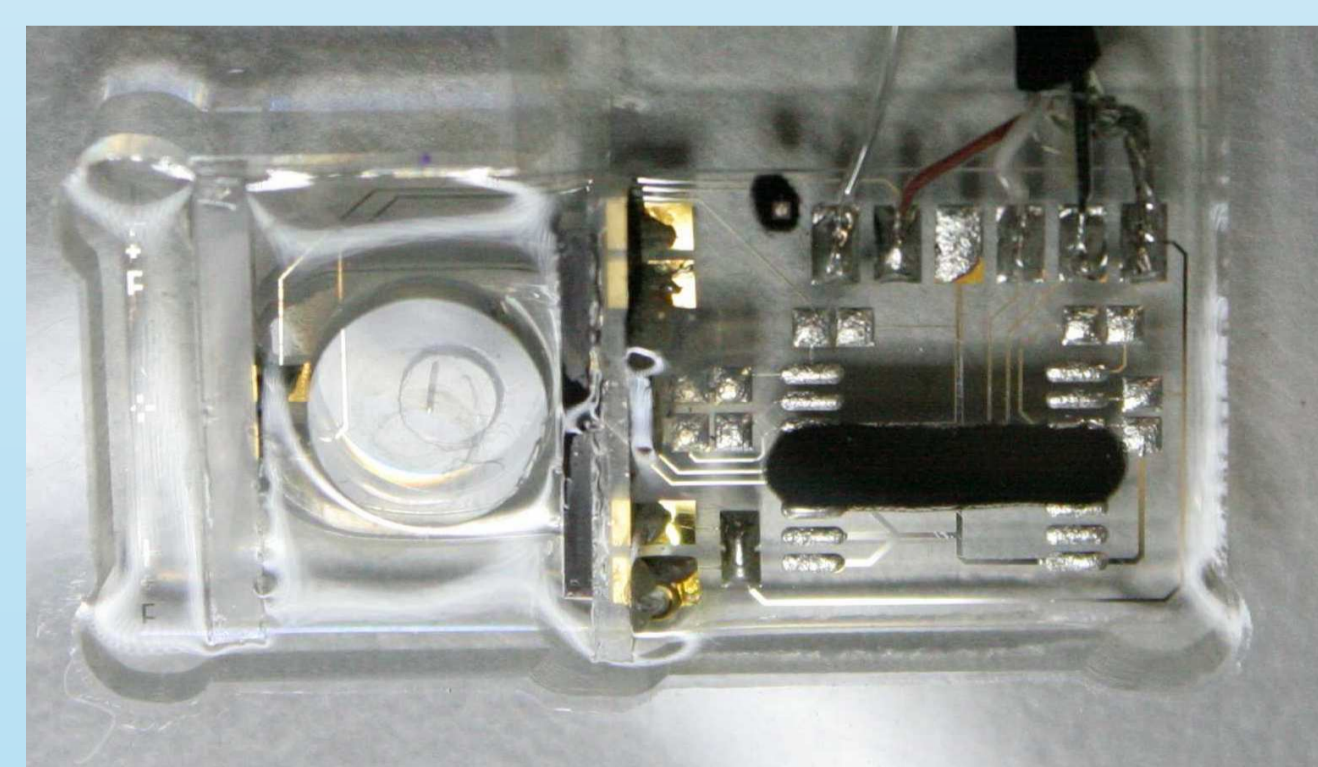
**Bild 1:** Layout für das entwickelte Silizium-Fotodiodenchip, mit der Möglichkeit die Gitterkonstante umzuschalten, 1...8 Anodenkontakte, R Rückseitenkontakte.



**Bild 2:** Ergebnis für die Berechnung mit dem Prinzip der Strahlenverfolgung bei Einsatz einer divergenten Lichtquelle (z.B. VCSEL). Die aktive Chipfläche ist innerhalb eines Lichtspalts, wo die Modulationstiefe maximal ist, zu positionieren. Dies erfordert eine hohe Montagegenauigkeit bzw. eine aktive Justierung. Bei dieser Anordnung ergibt sich durch die Divergenz der Lichtquelle ein Faktor zwischen der Geschwindigkeit der Partikel und der gemessenen Geschwindigkeit.



**Bild 3:** Konzeption für den Sensor zur freien Anströmung, Blick von oben, Dicke des Moduls ca. 2,5 mm.



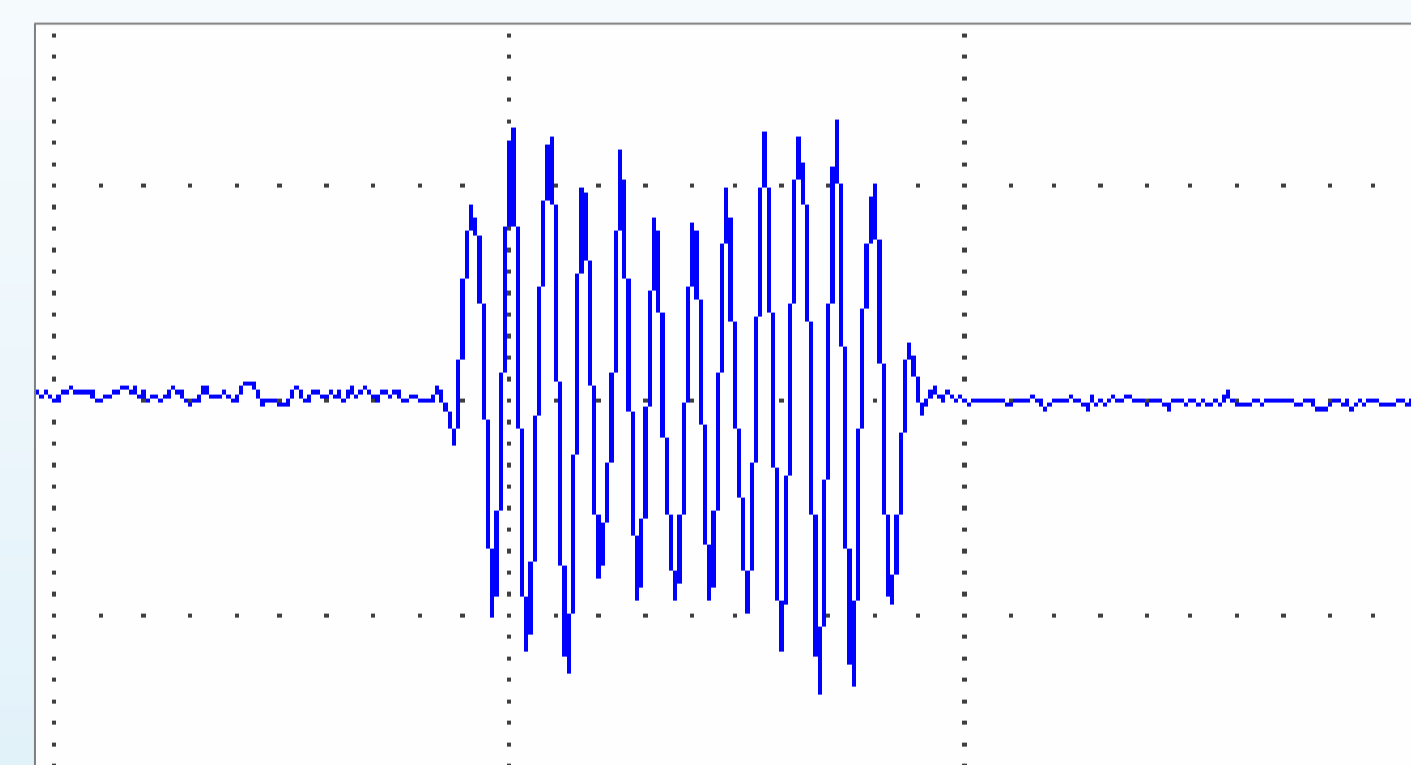
**Bild 4:** Fotografische Darstellung eines ersten Funktionsmusters zur freien Anströmung eingebettet in eine 6 mm dicke PMMA-Platte.

## Messergebnisse

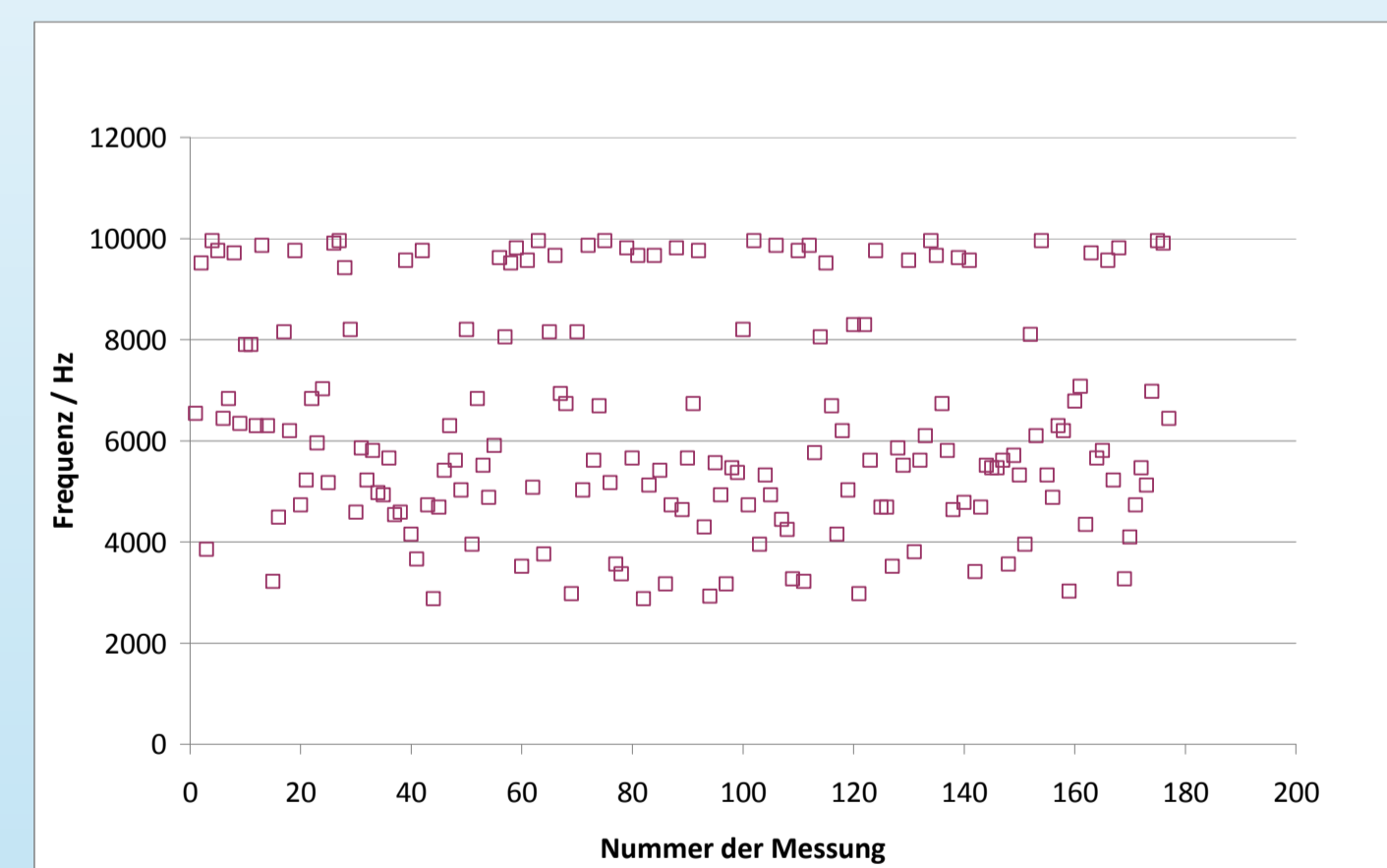
Im aufgebauten Funktionsmuster erreichen die Tracerpartikel bereits nach ca. 800 µm das Messvolumen.

Nach [1] kann die Einlauflänge für 50 mL/h je nach angewandter Berechnungsformel zwischen 0,53 - 1 mm angegeben werden.

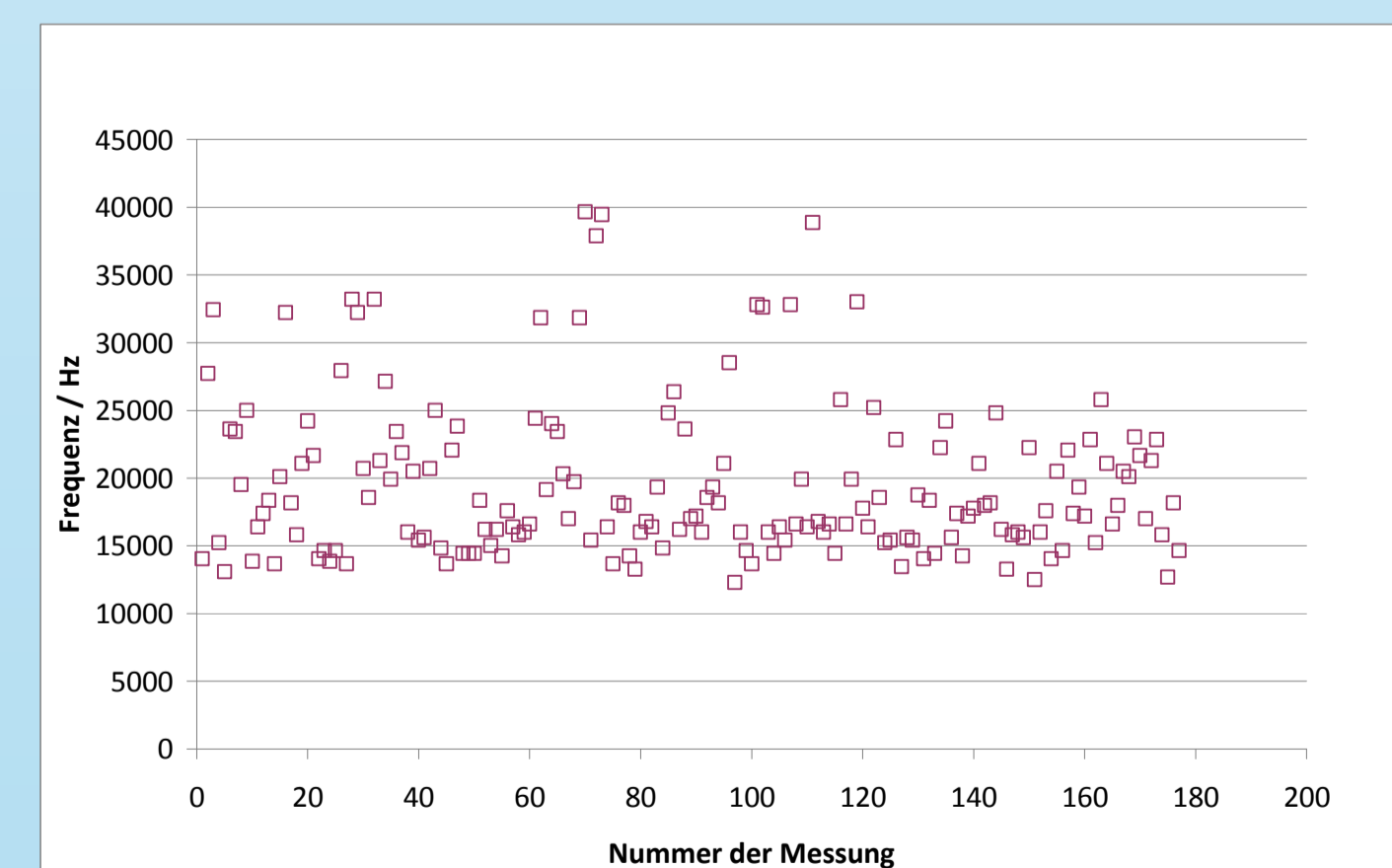
Das bedeutet, ab ca. 40 mL/h wird eine Kalibrierung des Sensors sehr schwierig, da von der Maximalgeschwindigkeit der Partikel nicht mehr so sicher auf die mittlere Geschwindigkeit geschlossen werden kann (vgl. Bild 6 und 7)



**Bild 5:** Beispielhaftes Sensorsignal, Gitterkonstante 110 µm, Partikel: 10 µm Hohlglaskugeln, Volumenstrom: 20 mL/h, dargestelltes Zeitintervall: 6 ms.



**Bild 6:** Generierte Frequenzen durch Partikel im Messvolumen bei einem Volumenstrom von 20 mL/h.



**Bild 7:** Generierte Frequenzen durch Partikel im Messvolumen bei einem Volumenstrom von 80 mL/h.

[1] Rauh H, Zosel J., Petrak D.: OPTISCHER SENSOR ZUR STRÖMUNGSMESSUNG IN MIKROSTRUKTUREN. Proc.: Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik", Karlsruhe, 9.-11. September 2008, 47/1-47/9.

## Ausblick

Zu größeren Volumenströmen hin nimmt die Messgenauigkeit ab. Ein Ausweg besteht darin, das Messvolumen und die Gitterkonstante weiter zu verringern z.B. durch die Kollimierung der VCSEL-Strahlung mit einer Grin-Linse und in Strömungsrichtung außermittiger Beleuchtung. Diese Maßnahmen sind in Vorbereitung.

## Danksagung

Die Arbeiten wurden unter dem Förderkennzeichen VF090018 über die EuroNorm GmbH durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie innerhalb des Förderprogramms INNO-KOM-OST gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung.