



# **Abschlussbericht**

(Kurzfassung)

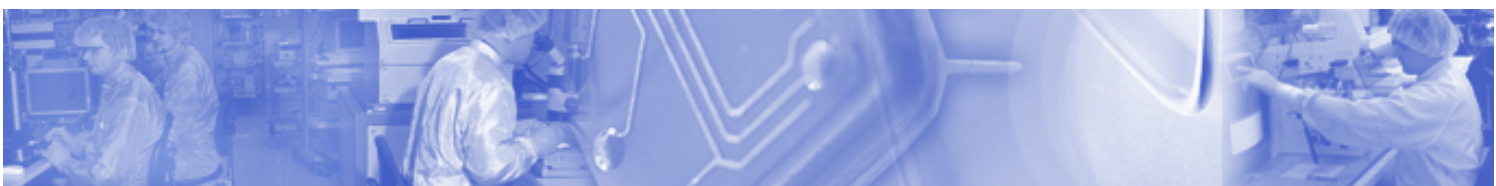
## **Einsatz thermischer Membransensoren zur Feucht- und Taupunktbestimmung**

AiF-Vorhaben-Nr: 13891 N

Projektlaufzeit: 01.09.2003 – 31.08.2005

Verfasser: Hartmut Glosch

Der vollständige Bericht kann von Interessenten angefordert werden.



## Forschungsziel

Ziel des geplanten Projekts war ein hybrid aufgebauter mikrotechnischer Taupunkt- und Feuchtesensor. Grundlage für den Sensor sollten am HSG-IMIT vorhandene Sensorenchips mit Nitritmembranen zur Messung von Strömungen sein. Da die sensitive Fläche (Nitritmembran) für den geplanten Einsatz gekühlt werden muss, beinhaltet der Aufbau die Integration eines angepassten Peltierkühlers und die Konzeption eines geeigneten Gehäuses.

- Nitridmembran  
Die Nitridmembran beinhaltet sowohl die Heizer Elemente zum Anheben der Membrantemperatur als auch die sensitiven Elemente (Thermopiles) zum Messen der Temperaturdifferenz. Neben der Dichtigkeit der Passivierung ist auch darauf zu achten, dass die Beschichtung so gewählt wird, dass sich bei der Kondensation von Wasser keine Tropfen, sondern ein konstanter Feuchtefilm bildet.
- Kühlung  
Der Sensor arbeitet nach dem Prinzip des Taupunktspiegels, also muss die Sensorfläche unter den jeweiligen Taupunkt der Luft abgekühlt werden. Dazu soll eine Peltierkühlung eingesetzt werden. Ziel ist es die Kühlung so zu gestalten, dass nur die Membran gekühlt wird. Ein weiteres Ziel ist die kostengünstige Integration mit dem Sensorchip auf einem geeigneten Träger. Der Gesamtaufbau ist so zu gestalten, dass soweit als möglich auf vorhandene Prozesse aufgebaut werden kann.
- Signalverarbeitung  
Zur Auswertung der Thermopile-Signale muss eine eigene Elektronik entwickelt werden. Da die genaue Auslegung und die Komplexität erst nach Auswertung der ersten Versuche möglich ist, wird erst zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt, ob eine komplette Elektronik aufgebaut werden kann. Die Signale werden zunächst über eine Standardelektronik in den PC eingelesen und ausgewertet.

## Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens 13891 (*Einsatz von thermischen Membransensoren zur Feuchte- und Taupunktbestimmung*) war die Erarbeitung von Grundlagen für einen thermisch detektierten Taupunktensor. Des Weiteren sollten verschiedene Herstelltechnologien für diesen neuartigen Sensor eruiert werden. Zum Abschluss des Projektes sollte ein funktionsfähiger Demonstrator aufgebaut und vermessen werden.

Zu Beginn wurden theoretische Grundlagen für die Funktion des Sensors erarbeitet. Dabei wurde ein einfaches mathematisches Modell für die Verdampfung von Flüssigkeiten auf einer dünnen Membran erstellt. In ersten Vorversuchen wurde dann die Funktionsfähigkeit des Messprinzips nachgewiesen. Für die ersten Nachweismuster wurde auf am HSG-IMIT vorhandene Flowsensorchips zurückgegriffen.

Da das zu entwickelnde System analog zu herkömmlichen Taupunktspiegeln auf dem Effekt der Betauung von gekühlten Flächen beruht, musste ein geeigneter Kühler gefunden werden. Da die zu kühlende Fläche des thermischen Sensors sehr klein ist wurden Untersuchungen mit verschiedenen Peltierelementen durchgeführt. Es zeigte sich, dass selbst die kleinsten handelsüblichen Elemente mit einer Leistung von ca. 300 mW noch überdimensioniert sind. Kleinere Peltierelemente sind allerdings erst mit Initialisierungskosten von > 10 k€ herstellbar.

Nach Erarbeitung der Grundlagen war der nächste Arbeitspunkt die Entwicklung einer AVT, die eine Integration von Sensorchip, Peltierkühler, Gehäuse und Elektronik beinhaltet. Besonders die Ankopplung der Kälteleistung des Peltiers an die Sensormembran war ein entscheidender Punkt. Dabei wurden zwei Konzepte verfolgt. Im ersten Ansatz wurde die Kälteleistung über einen zusätzlichen Koppelchip zur Membran geleitet. Dies beinhaltet eine Verbindung von zwei Silizium-Teilen. Um dies auf Waferenebene durchführen zu können wurde ein am HSG-IMIT vorhandenes Glaslotverfahren weiterentwickelt. Der so hergestellte Verbund Sensorchip-Koppelchip kann dann sehr einfach weiterverarbeitet werden. Im zweiten Ansatz wurde ein feinwerktechnisches Verfahren entwickelt. Dabei wurde der Sensor mit einem Flexboard in definiertem Abstand über einem Peltierelement direkt in ein Gehäuse eingeklebt. Beide Verfahren besitzen Vor- und Nachteile. Das durch Glaslot verbundene Sensorchip lässt sich einfach herstellen, nutzt die Kälteleistung des Peltiers optimal aus, hat aber den Nachteil der geringen Temperaturdifferenz zwischen der aktiven Sensormembran und dem Siliziumrahmen. Der Sensor aus dem feinwerktechnischen Konzept ist in der AVT aufwendiger, dafür ist aber die Membran der deutlich kälteste Punkt auf der Anordnung

Die Auswertung sollte thermoelektrisch erfolgen. Dabei wird auf der Membran ein Heizer zyklisch gepulst. Das auf der Membran liegende Thermopile soll dabei die Membranerwärmung messen. Lagert sich durch Abkühlung der Membran Wasser auf der Membran an, so wird ein Teil der Heizenergie zur Verdampfung des Wasser benötigt und das Thermopilesignals ändert sich drastisch. Die Membrantemperatur zum Zeitpunkt der Betauung stellt die Taupunkttemperatur dar und muss ebenfalls gemessen werden. Dafür wurde eine Auswertelektronik entwickelt und auf einem Mikroprozessor implementiert. Um die gekühlte Sensorfläche immer um den Taupunkt zu halten, muss der Peltier geregelt werden.

Da am HSG-IMIT kein Messplatz für Taupunktsensoren vorhanden war, war dessen Konzeption und Aufbau ein weiterer Arbeitspunkt. Im Laufe des Projekts hat sich aber gezeigt, dass nur mit einem professionellen Gerät reproduzierbare Messungen möglich sind. Zum Abschluss des Projekts wurden 3 Demonstratoren (Abb. 1/ Abb2) hergestellt und vermessen. Die Abweichungen der gemessenen Taupunkttemperaturen lagen im Messbereich (Taupunkttemperatur) von  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $20^{\circ}\text{C}$  unter einem Grad. Auch bei Projektpartnern und weiteren interessierten Kunden wurden erste Messungen durchgeführt. So konnten die Ergebnisse unserer Messungen unter anderem bei den Firmen Testo, Luft und am Cis in Erfurt bestätigt werden.

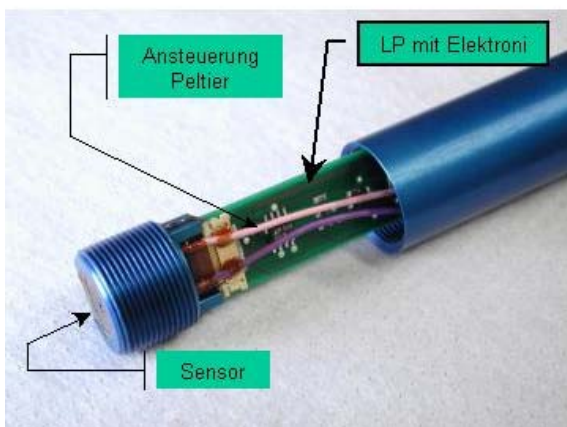


Abb. 1 Sensorkopf

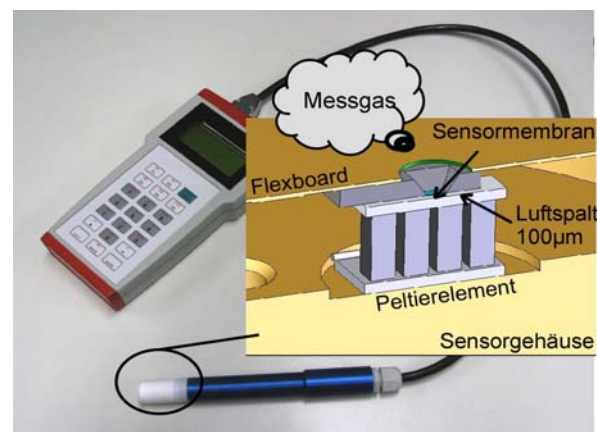


Abb. 2 Demonstrator

## Ausblick

Die Grundlagen für das neuartige Sensorprinzip wurden erarbeitet und verschiedene Konzepte zur Herstellung der Sensoren durchleuchtet. Das vorhandene Sensorchip muss gegebenenfalls auf eine konkrete Anwendung angepasst werden. Die Auswertung der Signale und die zur Funktionsfähigkeit notwendige Regelung des Peltierelementes wurden auf  $\mu$ -Prozessor-Basis erarbeitet und implementiert. Es wurden mehrere Demonstratoren aufgebaut. Mit diesen Demonstratoren ist eine gezielte Akquisition für Folgeprojekte geplant. Dabei können bereits erste Erfolge verzeichnet werden. Ausgehend vom erreichten Stand der Technik zeigen sich derzeit drei Problemfelder in der Feuchtemesstechnik in denen der Bedarf an Sensoren derzeit nicht oder nur ungenügend befriedigt werden kann.

1. Es besteht ein großer Bedarf an langzeitstabilen und wartungsfreien Sensorsystemen für den Einsatz in der Druckluftaufbereitung
2. Es besteht ein Bedarf an korrosionsbeständigen Taupunktsensoren in der Prozess und Abgasmesstechnik, z.B zur Bestimmung von Säuretaupunkten.
3. Es gibt keine reaktionsschnellen Sensorprinzipien für Anwendungen wie das Beatmungsmonitoring in der Medizintechnik.

Für die genannten Problemstellungen kann das vorgestellte Konzept des thermischen Taupunktsensors Lösungen bieten:

1. Durch die dynamische Signalauswertung ist mit einer Sensordrift über längere Zeiträume nicht zu rechnen. Verschmutzungen auf der sensitiven Fläche werden größtenteils kompensiert, des weiteren bietet das Auswerteverfahren Möglichkeiten zur Fehlererkennung und zur Selbstkalibrierung.
2. Die dem Messgas zugängliche sensitive Sensorfläche besteht aus Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) und ist damit im Vergleich zu metallpolierten Oberflächen, wie sie bei Taupunktspiegel eingesetzt werden deutlich korrosionsbeständiger. Ein weiterer Vorteil ergibt sich durch das thermisch basierte Auswerteverfahren, das keine optischen Eigenschaften der Messfläche benötigt.
3. Die sensitive Fläche (Sensormembran) hat auf Grund ihrer geometrischen Abmessungen und ihren Materialparametern vorteilhafte thermische Eigenschaften. Die thermische Ansprechzeit der Membran liegt dadurch im Bereich von wenigen Millisekunden.

Das in Versuchen nachgewiesene und in ersten Labormustern realisierte neue Messverfahren lässt aufgrund erster Messungen auf hervorragende Sensoreigenschaften schließen. Andererseits existiert noch kein Prototyp von dem aus die Entwicklung industrieller Produkte gestartet werden könnte. Folgende Punkte wären in weiteren Projekten noch zu klären:

- Funktionstests unter realen Anwendungsbedingungen
- Untersuchungen zur Langzeitstabilität
- Untersuchung zur Verschmutzungstoleranz des Sensorelementes
- Selbsttest und Selbstkalibrationsmethoden.
- Validierung des Sensorkonzepts zur reaktionsschnellen Messung beim Atemgasmonitoring.

Als ersten konkreten Schritt hat das HSG-IMIT zusammen mit dem CIS in Erfurt mit der Zielrichtung „Sensoren für die Drucktaupunktmessung“ und „Taupunktsensoren zum Einsatz in korrosiven Medien“ eine InnoNet-Projekt beim VDI-VDE in Berlin eingereicht. Das Projekt wurde inzwischen genehmigt und läuft seit 2007..

Eine deutliche Kostenreduktion wäre mit einer integrierten Membrankühlung zu erreichen. Damit würden sich weitere Anwendungsfelder für das Sensorsystem auftun. Diese lägen vor allem in den Bereichen, die bis jetzt von billigeren Sensoren abgedeckt werden. Zur Erarbeitung eines Sensorsystems mit integrierter Kühlung hat das HSG-IMIT zusammen mit dem IPHT in Jena einen ZuTech-Forschungsantrag mit dem Titel „CoMem“ gestellt. Auch dieses Projekt ist inzwischen genehmigt. Die Ergebnisse der laufenden Forschung auf dem Gebiet des thermisch detektierten Taupunkt- und Feuchtesensors wurden bereits auf dem vom VDI-VDE im Oktober 2005 in Freiburg veranstalteten MST-Kongress sowie auf Mikrosystemtagung im November 2005 in Chemnitz vorgestellt.

### **Durchführende Forschungsstelle**

Institut für Mikro- und Informationstechnik  
der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.  
HSG-IMIT  
Wilhelm-Schickard-Straße 10  
78052 Villingen-Schwenningen  
[www.hsg-imit.de](http://www.hsg-imit.de)

Leiter der Forschungsstelle:      Prof. Dr. Holger Reinecke  
   Prof. Dr. Yiannos Manoli  
   Prof. Dr. Roland Zengerle

### **Förderhinweis**

Das Forschungsvorhaben (13891 N) der Forschungsvereinigung Hahn-Schickard-Gesellschaft wurde im Programm zur Förderung der "Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)" vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AIF finanziert.