

# Selbstreinigender Mikrosensor

**Keywords:** Umweltsensor, Ultraschall, Antifouling

Der Datenbedarf zur Umweltüberwachung (Monitoring) und Modellierung von Ökosystemen ist durch eine Vielzahl regionaler und internationaler Programme mit unterschiedlicher Fragestellung exponentiell gestiegen. Der bionisch inspirierende Gedanke liegt nahe, den "Organismus Erde" (siehe J. LOVELOCK's "Gaia"-Konzept) ähnlich einem Lebewesen mit einer Vielzahl von Rezeptoren in ausreichender Dichte und unterschiedlichster Spezifikation auszustatten, um eine der Voraussetzungen für ein globales Umweltmanagement zu schaffen. Ein Großteil der physikalischen und chemischen Parameter, die Zustand und prozessuale Trends in den Umweltkompartments indizieren, werden mit klassischen Meßapparaturen und -methoden erfasst. Deren Kosten- und Zeitintensität setzt für fortgeschrittene Ansätze hinsichtlich räumlicher Auflösung, Meßintervall und Zeitreihenlängen von vornherein eine Machbarkeitsgrenze. Sensoren, deren aktives Substrat mit mikrotechnologischen Mitteln strukturiert wird, wären infolge des üblichen batch processing in großen Stückzahlen kostengünstig verfügbar, bieten eine breitere Palette an Signalwandlungseffekten, eignen sich infolge entschieden geringerer Leistungsaufnahme für energetisch autarke Systeme und sind baugrößenbedingt rückwirkungsärmer. Diese und weitere sensortechnisch günstige Kriterien (geringe Trägheit, kompatibel zur transformierenden Elektronik, fallweise bessere Dynamik, Sensitivität und Selektivität) sprechen für einen qualitativen Sprung in der Sensorentwicklung und -anwendung.

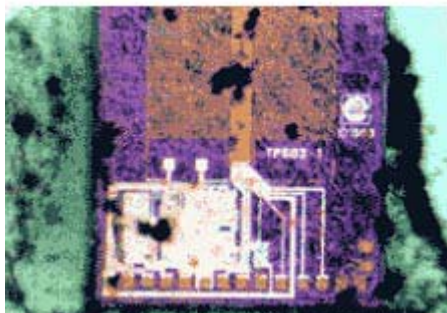
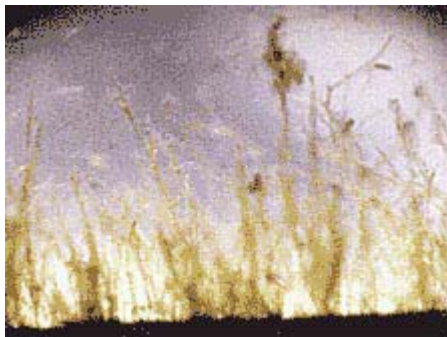


Abb. 1 [Schilling]: Mikrofoto von Aufwuchsorganismen: a) auf Schilfstängel, b) auf Siliziumchip

## Problemstellung

Abgesehen von technologischen Hürden im Übergang vom Labormuster zum Feldversuch und marktbedingten Komplikationen stehen die Mikrosensoren, deren Entwicklungsvielfalt schon Bände füllt, einem ganz biogenen Problem gegenüber. "Die Natur duldet kein Weißes", auch keine freibleibende Oberfläche. Während herkömmliche Meßsonden z. Tl. durch ihre Bauform vor zu schneller Verblockung geschützt werden können oder aber regelmäßig gereinigt werden, ist die im Reinraum mikrostrukturierte Oberfläche eines Sensorchips der Vielzahl von Oberflächeneffekten der "Makrowelt" massiv ausgeliefert. Neben der Adhäsion verschiedener Partikelarten und -klassen sind es in Wasser- und Bodenmedien die Mikroorganismen, die aktiv als Aufwuchs (das "Epilithion" der Ökologen, der "Biofilm" der Technologen oder das "fouling" der Schiffbauer) die Oberfläche besiedeln und in kurzer Zeit den Sensor verblocken. Das Signal driftet in unvorhersehbarer Weise und die Standzeit des sensorischen Moduls liegt unterhalb der Effizienzgrenze. Sensorisch aktive Schichten können jedoch nicht durch eine Verkapselung (covering) geschützt werden, da ihr Wirkprinzip meist auf dem unmittelbaren stofflichen Austausch mit der Umgebung beruht. Die in Schiffbau und Wassertechnik üblichen Methoden des "Anti-fouling" würden durch physikalische Querempfindlichkeiten oder chemische Wechselwirkungen das Sensorsignal verfälschen und widersprechen schließlich auch als Gifteinsatz dem Grundanliegen des Umweltschutzes.

## Vorbild: Zungenpapillen

Lösungsansätze des Dilemmas bietet die lebende Natur selbst: populär geworden ist die verschmutzungsvermindernde Oberflächenstruktur der Lotos-Cuticula (siehe Bionik-Standort Bonn). Ein aktives Prinzip der Freihaltung chemischer Rezeptoren ist dagegen bei den Zungenpapillen zu finden, bei welchen die v. EBNER'schen Spüldrüsen im Fluidraum vor den Geschmacksknospen ein physiologisches Reset bewirken. Unsere Chemosensoren liegen in eine Grube eingesenkt, die permanent durch dünnflüssigen Speichel freigespült werden muß. Diese Analogien wurden in den Entwurf einer dimensionsgleichen Sensorperipherie eingebracht, die als Modul an verschiedene on\_chip-Sensoren angepaßt werden soll. Die oft zu beobachtende Integration von Stellelementen (Aktoren) in den Sinnesorganen (Sensorkomplexen) realisiert im Organismus das Prinzip der Adaptivität.

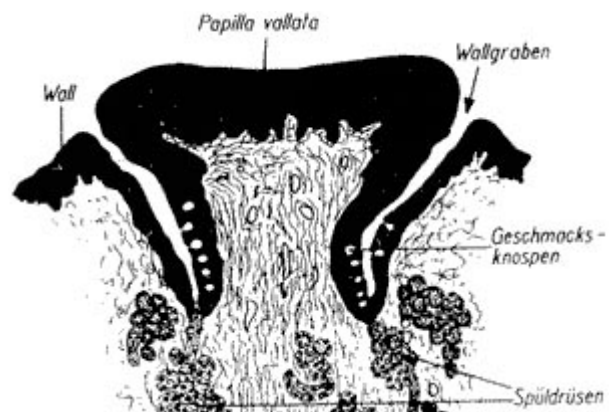


Abb. 2 [Voss & Heerlinger]: Querschnitt einer Zungenpapille

## Erstes Testobjekt

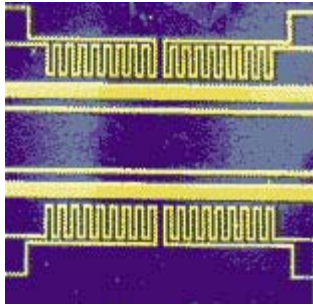
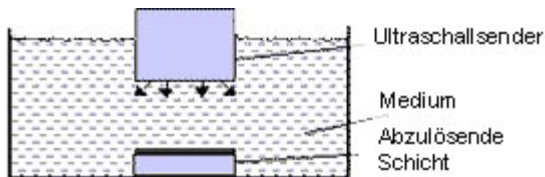


Abb.3 [Bley]: Testobjekt Siliziumchip, 15x15 mm

Als erstes Testobjekt für das mikrohydraulische Selbstreinigungs-Modul wurde ein Leitfähigkeitssensor ausgewählt, der auf einer Silizium-Basis in 4-Leiter-Konfiguration aufgedampfte Gold- bzw. gesputterte Titannitrid-Elektrodenschichten trägt. Der mit einer Wechsellspannung variabler Frequenz über einen Instrumentationsverstärker beschaltete Sensor wurde langfristig unter verschiedenen in-vitro- und in-vivo-Bedingungen mikrobiell aktivem Wasser ausgesetzt und die Drift des Meßsignals gegen eine Platin-Referenzmeßzelle ermittelt. Beide Werte wurden zusammen mit einer Temperaturkompensation über einen Multiplexer aufgezeichnet. Innerhalb der ersten 24 h erfolgte eine in ihrem Verlauf schwer determinierbare Abnahme der Sensorreaktion, die auf ein Ursachenkomplex hindeutet, der zeitlich gestaffelt erfolgt:

1. physikochemische Prozesse und ionische Abscheidungen;
2. Adsorption makromolekularer Stoffe (z.B. Huminsäuren) und partikuläre Adhäsionen (conditioning film)
3. Biofilmbildung durch Bewuchs mit epilithischen Mikroorganismen (Bakterien, Algen, Protozoen) und ihrer extrazellulären Schleim-Matrix.



## Umsetzung der Selbstreinigung

Die Prüfung der Effektivität der Sensorreinigungskomponente, bei der unter einer mittels Piezokeramik getriebenen schwingungsfähigen Membran Ultraschall-Kavitationen (im kHz-Bereich) und strömungsbedingte Scherkräfte in der Flüssigkeitsschicht unmittelbar über der Sensoroberfläche periodisch erzeugt werden, erfolgte nach experimentellem Ausschluss anderer üblicher Verfahren der Entkeimung (z.B. UV-C-Strahlung). Für letztere weisen mikroelektronische Strukturen grundsätzlich Querempfindlichkeiten auf, die der Forderung der Rückwirkungsfreiheit der Reinigungsmethode entgegenstehen.

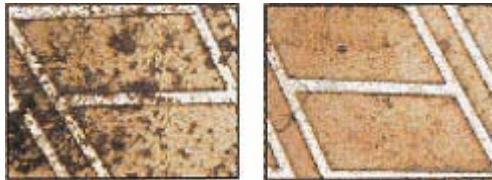


Abb. 4 [Oberthür & Bley]: Prinzip der Selbstreinigung (oben); Chip vor und nach der Reinigung (unten)

## Einsatz und Ausblick

Nach der Übernahme dieser Entwicklung als integriertes "Mikro-Ultraschall-Bad" durch die Meeresforschung ist eine Applikation absehbar, die einen Mosaikstein zur Beherrschung eines der globalen Probleme, der marinen Devastierung, beitragen kann. Dass die bionische Modellierung als kreative Methode zwar nicht immer das "WIE" einer Lösung bieten kann, wohl aber belegt, dass es Lösungsmöglichkeiten geben muss, wird auch im Falle der Umsetzung zur piezomechanisch getriebenen Mikroresonator-Pumpe wieder bewusst. Nicht ausgeschlossen ist, dass weitere, erst zum Teil bekannte Bewuchsverhinderungs-Strategien der aquatischen Organismen (biochemische Repellents der Fischhaut) oder elektrophysiologische Eigenschaften der Mikroben-Zellen selbst (COULOMB'sche Kräfte) Anregungen für noch effizientere Freihaltungsverfahren bieten werden. Die Entwicklung dieser Komponente zum einsatzfähigen Produkt in der Meeres- und Süßwassertechnik bezieht zugleich ein reizvolles Spektrum an relevanten Fachgebieten sowohl aus Zellbiologie, Ökologie, Fluidmechanik und Tribologie in der Mikrodimension als auch eine Auswahl integrativer Systementwicklungen mit verfügbaren Mikrotechnologien ein.

## Und so sieht das fertige Produkt aus:

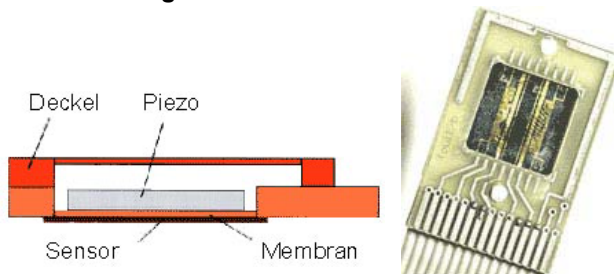


Abb. 6 [Oberthür & Kempf]: Der fertige Sensor: Schema (li) und Foto (re)

Das Prinzip wurde patentiert unter **Pat.-Nr.: P 197 48 725. 4** und zur Anwendungsreife gebracht in Zusammenarbeit mit: Dr.-Ing. S. Hecht und Dipl.-Ing. S. Oberthür (TU Ilmenau), Dr.-Ing. Th. Philipp (Fa. CiS Erfurt), Dr.-Ing. M. Marinov (TU Sofia), Frau Dipl.-Biol. K. Bley ([Fa. 4H-Jena-engineering](http://www.4H-Jena-engineering.de)), Frau Dipl.-Umweltwiss. S. Korczuch (FSU Jena, AG Limnologie)