

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 106 (2015)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Drahtlose Mini-Sensorsysteme für Verpackungsanlagen  
**Autor:** Landolt, Andrin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856663>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Drahtlose Mini-Sensorsysteme für Verpackungsanlagen

## Echtzeit-Ermittlung des Restsauerstoffs über gesamten Prozess

Die heute geforderte Qualität und Haltbarkeit verpackter Waren erfordert es, eine zunehmende Anzahl von Produkten wie Portionenkaffee, Babynahrung oder frische Salate unter Schutzatmosphäre abzapacken. Meist wird dabei die in der Verpackung eingeschlossene Luft durch Stickstoff ersetzt. Ein drahtloser Sensor, der die Restsauerstoffwerte aus Sicht des Produktes erfasst und in Echtzeit zugänglich macht, kann nun zur Optimierung der Entwicklung und des Betriebs der dazu nötigen Verpackungsanlagen eingesetzt werden.

### Andrin Landolt

Mit den laufend steigenden Ansprüchen an Qualität und Haltbarkeit wird vor allem im Bereich Convenience Food oder Pharma eine zunehmende Anzahl Produkte unter modifizierter Atmosphäre abgepackt (Modified Atmosphere Packaging, MAP). Dabei wird die Luft in der Verpackung durch ein Gas oder Gasgemisch ersetzt, welches das Produkt schützt und so dessen Haltbarkeit und Qualität steigert. Um eine gleichbleibende Qualität zu erreichen, werden zudem Parameter wie Temperatur oder Luftfeuchte in den Produktions- und Verpackungsanlagen immer präziser vorgeschrieben.

### Hohe Anforderungen aus der Praxis

Das zuverlässige Einhalten der vorgegebenen Prozessparameter beim Verpacken unter modifizierter Atmosphäre stellt hohe Anforderungen an die Entwicklung, aber auch an den Betrieb und den Unterhalt der Anlagen. In Verpackungsanlagen für Portionenkaffee wird beispielsweise über eine Länge von mehr als 10 m an Dutzenden von Stellen durch Leitungen und Düsen Stickstoff zugeführt, um die Umgebungsluft und damit den Sauerstoff im sogenannten Gasraum der Anlage zu verdrängen. Um diesen Bereich zugänglich für Wartungs- und Reinigungsarbeiten zu halten, kann er nicht vollständig gasdicht gestaltet werden. Zudem wird der Gasraum durch die Verarbeitungs- und Materialzufuhrstationen immer wieder unterbrochen. Damit

die geforderten Prozessparameter eingehalten werden können, sind aussagekräftige Messungen unerlässlich. Stand der Technik ist, die Anlage mit Sensoren auszurüsten, welche die relevanten Grössen an einigen hoffentlich wichtigen Punkten in der Anlage stationär überwachen. Dies ist in den meisten Fällen allerdings nur

wenig aussagekräftig, da nicht direkt da gemessen wird, wo das Produkt die Anlage durchläuft.

Entscheidend wäre zu wissen, welche Gaszusammensetzung das abzupackende Produkt während dem Verpackungsprozess «sieht». Und zwar nicht nur als Endresultat in Form einer gemessenen Zusammensetzung in der verschlossenen Verpackung, sondern vor allem als zeitaufgelösten Verlauf, sodass ersichtlich wird, wie lange das Produkt welcher Konzentration ausgesetzt war. Diesen Verlauf zu kennen, ist besonders bei Produkten mit porösen Eigenschaften wie z.B. Kaffeepulver wichtig, da sich das darin einmal eingeschlossene Gas später praktisch nicht mehr verdrängen lässt. Stationäre Messungen an einigen diskreten Stellen innerhalb der Anlage können deshalb niemals die benötigten Informationen liefern: Sie bilden den Prozess nicht aus Sicht des Produktes ab. Dazu kommt, dass gerade die bezüglich



Das Sensorsystem sendet die Daten des Restsauerstoffgehalts in Echtzeit und ermöglicht so schnelle Optimierungen einer Produktionsanlage.



Sauerstoffgehalt kritischen Stellen wie eine Siegelstation in der Regel am schwierigsten zu instrumentieren sind. Idealerweise würde man den Sensor also direkt beim oder im Produkt platzieren und die relevanten Grössen über den gesamten Verpackungsprozess erfassen. Ist die Messfrequenz genügend hoch und lassen sich die Messwerte einer Position in der Anlage zuordnen, würde so sofort offensichtlich, wo im Prozess das Produkt eine zu tiefe Temperatur oder eine zu hohe Sauerstoffkonzentration «gesehen» hat. Die Anlage könnte mit dieser Information sehr effizient eingestellt oder optimiert werden.

### Lösungsansatz

Dies war unsere Einschätzung zu Beginn unserer Zusammenarbeit mit Rychiger AG. Als Dienstleister im Bereich Strömungsmechanik und Messtechnik waren wir damit beauftragt, Teilaspekte des rund 10 m langen Gasraumes für Verpackungsanlagen im Bereich Portionenkaffee zu analysieren und hinsichtlich des Stickstoffverbrauchs zu optimieren. Man erkannte relativ rasch, dass ohne aussagekräftige Messdaten eine zielgerichtete Optimierung nicht möglich war: Die Auswirkungen von Modifikationen waren ohne diese nicht zu überprüfen.

Es wurde also nach einer geeigneten Sensortechnologie gesucht, die es erlauben würde, den Restsauerstoff mit einer instrumentierten Kapsel über den gesamten Verpackungsprozess aus Sicht des Produktes aufzuzeichnen. Da die Messungen vorwiegend bei geringen Sauerstoffmengen durchgeführt werden und zwingend drahtlos erfolgen müssen, da kein Verkabeln des mitbewegten Sensors möglich ist, können die Anforderungen wie folgt zusammengefasst werden:

- Ansprechzeit maximal 0,1 s
- Abtastrate mindestens 5 Hz

- hohe Sensitivität bei geringen Restsauerstoffmengen
- geringer Energiebedarf (Batterie)
- kleine Bauform

Gängige Messprinzipien eignen sich aufgrund der hohen notwendigen Betriebstemperaturen (Zirkoniumoxyd) nicht für den Akkubetrieb oder haben für einen mitbewegten Sensor zu lange Ansprechzeiten. Alle Punkte werden hingegen fast ideal erfüllt durch die Methode der druckempfindlichen Farben (engl. Pressure Sensitive Paint, PSP). Dabei werden geeignete Moleküle mit Licht einer definierten Wellenlänge zur Fluoreszenz angeregt. Sind Sauerstoffmoleküle präsent, wird ein Teil der Anregungsenergie nicht als Licht emittiert, sondern wird an die Sauerstoffatome abgegeben. Der Vorgang ist als Quenching bekannt. Das Quenching nimmt ab, wenn die Zahl der Sauerstoffmoleküle abnimmt, d.h. bei geringen Drücken oder wenn der Sauerstoff durch ein anderes Gas verdrängt wird. In anderen Worten: Die Intensität der Fluoreszenz steigt mit abnehmender Sauerstoffkonzentration. Die grössten Nachteile dieser Technologie sind die begrenzte Lebensdauer der druckempfindlichen Farbe sowie der Einfluss der Temperatur auf die Emission.

Die Methode der druckempfindlichen Farben wird hauptsächlich in der Windkanalmesstechnik eingesetzt. Die Modelle werden mit der Farbe beschichtet und die fluoreszente Antwort wird während des Versuches mit Kameras berührungslos ausgelesen. So lassen sich die für die aerodynamischen Eigenschaften eines Körpers zentralen Verläufe des statischen Druckes auch auf komplexen Oberflächen flächig abbilden. Die Schwierigkeiten liegen dabei vor allem in der Kalibration und der geometrischen Referenzierung des Modells. Der Ansatz

wird aber auch schon seit einiger Zeit zur Gasanalyse eingesetzt und entsprechende Sensoren sind auf dem Markt erhältlich, wie z.B. das NeoFox von Ocean Optics. Die kommerziell erhältlichen Geräte sind allerdings deutlich zu langsam und für eine drahtlose Verwendung ungeeignet. Zusammen mit der Rychiger AG wurde beschlossen, gemeinsam eine Sensorplattform für drahtlose Sauerstoffmessungen in Verpackungsanlagen zu realisieren.

### Optimierungsarbeiten

Die Herausforderung bestand vorerst darin, die Antwortzeit der druckempfindlichen Farbe bei gleichbleibender Messgenauigkeit zu reduzieren. Die Antwortzeit wird durch die Kombination zwischen Farbstoff und Binder vorgegeben. Generell führen sehr poröse Binder zu kurzen Antwortzeiten, da so die Diffusionswege für die Sauerstoffmoleküle nur kurz sind. Für die vorliegende Anwendung musste zudem ein Farbstoff mit einer ausreichend hohen fluoreszenten Intensität gefunden werden. Durch ein gutes Verhältnis zwischen Signal und Rauschen können so lange Mittelungszeiten vermieden werden. Mit Hilfe zahlreicher Funktionsmuster und Prototypen wurde die Antwortzeit stetig reduziert und die Zuverlässigkeit der Messung verbessert. Verschiedene Konfigurationen zur geometrischen Anordnung von Erreger-LED, PSP-Element optischen Filtern und Fotodiode wurden entworfen und getestet. Zentral war auch hier die Maximierung des Antwortsignals und des Gasaustausches zwischen allen Elementen. Zudem wurden die Komponenten sukzessive miniaturisiert und der Aufbau mit einem Sensor zur Temperaturkompensation ergänzt.

In der aktuellen Version wird die Farbe in geeigneter Dicke auf ein transparentes Trägermaterial aufgebracht, sodass sie im Durchlichtverfahren von einer Seite durch eine LED im kHz-Bereich angeregt und von der anderen Seite durch eine Fotodiode ausgelesen werden kann. Das eigentliche Sensorelement kann so in einem Schutzgehäuse von gerade 6x6x5 mm untergebracht werden. Zusammen mit der Auswertelektronik, einem Funkmodul für die Kommunikation auf dem 2,4-GHz-Band sowie der Spannungsversorgung inkl. LiPo-Akkus für 2 h Autonomie lässt sich alles in einer Baugrösse ab 30x30x20 mm unterbringen.

### Commentaire Electrosuisse / ITG

#### Capteurs miniaturisés

Aujourd'hui, les capteurs jouent un rôle important dans les processus industriels. Ce sont eux qui permettent de mesurer les paramètres de l'environnement et d'assurer la qualité d'une production. Le défi qu'Andrin Landolt a décidé de relever consiste à utiliser un capteur pour mesurer le taux d'oxygène résiduel à l'intérieur des capsules de café en poudre. En effet, si l'oxygène est nécessaire à la vie, il est néfaste pour la conservation des aliments et les industriels s'efforcent de l'éliminer des emballages.

Les contraintes relatives au système étaient nombreuses: le capteur devait être performant et précis, le système devait pouvoir communiquer sans fil avec l'unité de contrôle, il devait être alimenté par une batterie et le tout devait tenir à l'intérieur d'une capsule de café.

D<sup>r</sup> Jacques Supcik est professeur en télécommunications à la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg.



## Sensor im Einsatz

In der auf die Rychiger-Anlagen zugeschnittenen Form für Anwendungen im Bereich Portionenkaffee findet ein Sensor so komplett Platz in einer Kaffeekapsel und kann den Verpackungsprozess anstelle des eigentlichen Produktes vollständig durchlaufen. Neben dem Restsauerstoff werden die Temperatur sowie die Beschleunigung in allen drei Achsen durch kommerziell erhältliche Bauteile erfasst. Dies geschieht, um die Position des Sensors in der getakteten Anlage aufzeichnen und Temperatureffekte korrigieren zu können. Die Plattform kann problemlos über einen I2C-Bus mit weiteren Sensoren ergänzt werden. Die Daten werden mit 5 Hz aufgezeichnet, was genügt, um den Verlauf der Messwerte in den untersuchten Anlagen aufzulösen. Höhere Messraten sind problemlos möglich. Sollte der Funkkontakt in der Maschine abbrechen, werden die Daten lokal auf dem Modul geloggt und können nach der Messung drahtlos ausgelesen werden. Es kann aktuell mit bis zu fünf Sensoren (z.B. verteilt auf die Breite der Anlage) gleichzeitig gemessen werden. Den Aufbau des Funknetzwerkes sowie das Erfassen, Auswerten und Speichern der Daten übernimmt eine eigens dafür geschriebene Software. Die Kommunikation mit den Sensoren erfolgt über ein USB-Dongle.

Schon die ersten Einsätze eines Prototypensystems verdeutlichten das Potenzial des Ansatzes, den Prozess aus der Sicht des Produktes zu verfolgen: Innert weniger Minuten ergibt sich ein Gesamtbild der Anlage. Da die zeitlichen Verläufe der Messdaten zur Verfügung ste-

hen, werden Abläufe und das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten sofort offensichtlich. Da die Resultate in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden, werden Fehleinstellungen sofort erkannt und der Erfolg einer Korrekturmassnahme kann unmittelbar beurteilt werden. Die aus Sicht des Produktes aufgenommenen Verläufe sind zudem intuitiv verständlich, was immer wieder dazu geführt hat, dass der nächste Modifikationsschritt bereits während einer laufenden Messung beschlossen wurde. Mit dem Einsatz des Messsystems wurde das Einstellen einer neuen Anlage massiv beschleunigt. Eine Optimierung kann gezielt und effizient erfolgen. Das gesamte System lässt sich zudem als Handgepäck transportieren und leistet so wertvolle Dienste bei Wartungsarbeiten vor Ort.

## Flexibles System

Das System ermöglicht völlig neue, detaillierte Einblicke in Produktions- und Verpackungsanlagen und vereinfacht damit sowohl Entwicklung, Optimierung, als auch die Wartung von komplexen Anlagen signifikant. Aufgrund der Vielzahl möglicher Anwendungen, insbesondere bezüglich Verpackungsform und zu erfassender Messgrösse, wurde das Messsystem als modulare Plattform konzipiert. So kann es mit geringem Aufwand an die jeweilige Aufgabenstellung angepasst werden. Zudem ist das System flexibel genug, je nach Anwendungsfall die durch die Anlage bewegten Sensoren mit stationären Modulen zu kombinieren.

Das System steht zunächst primär für Auftragsmessungen durch Streamwise zur Verfügung. So kann sich der Kunde

## Résumé

### Des capteurs sans fil pour les lignes d'emballage Mesure de l'oxygène résiduel tout au long du processus

La qualité et la durée de conservation exigées à l'heure actuelle pour les marchandises emballées nécessitent le conditionnement d'un nombre croissant de denrées alimentaires sous atmosphère protectrice. La plupart du temps, l'air inclus dans l'emballage est alors remplacé par de l'azote. Afin d'atteindre une haute qualité, des capteurs fixes sont habituellement utilisés pour contrôler la teneur en azote. Un mini-système muni d'un capteur sans fil qui parcourt l'installation comme le produit a été conçu dans le but de fournir en temps réel des résultats plus probants. Le principe de fonctionnement du capteur repose sur des peintures sensibles à la pression dont la fluorescence diminue en présence de molécules d'oxygène. Il peut ainsi être employé afin d'optimiser efficacement la conception et l'exploitation des lignes d'emballage.

No

einerseits vom Nutzen dieses Ansatzes überzeugen, andererseits können Modifikationen und Ergänzungen an der Sensorplattform festgelegt werden. So wird sichergestellt, dass das Messsystem optimal mit der Anlage harmonisiert und in derselben verblüffenden Art Licht in komplexe Zusammenhänge bringen kann.

## Autor

**Andrin Landolt**, Dr. sc. ETH, ist Partner des ETH-Spinoffs Streamwise, das im Bereich der Fluidodynamik und der optischen Metrologie aktiv ist.  
Streamwise GmbH, 8005 Zürich, landolt@streamwise.ch

Anzeige

Energienachrichten  
aus der Schweiz für die Schweiz

täglich.  
aktuell.  
informiert.



Der energ|gate messenger Schweiz liefert die wichtigsten Energienachrichten des Tages. Online, per E-Mail und über die App sind Sie stets bestens darüber informiert, was die Branche bewegt.

**Sonderangebot für Mitglieder von Electrosuisse:**  
12 statt 4 Wochen kostenlos und unverbindlich testen!

Mehr Infos unter  
[www.electrosuisse.ch/energatemessenger](http://www.electrosuisse.ch/energatemessenger)

**ener|gate**  
messenger

ener|gate gmbh  
Büro Schweiz  
Tel.: +41 (0) 62.211.6308  
Fax: +41 (0) 62.211.6309  
[kundenservice@energate.ch](mailto:kundenservice@energate.ch)