

## Zusammenfassung zum Schlussbericht

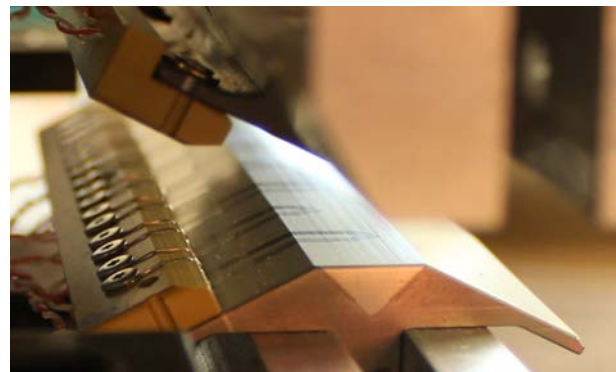
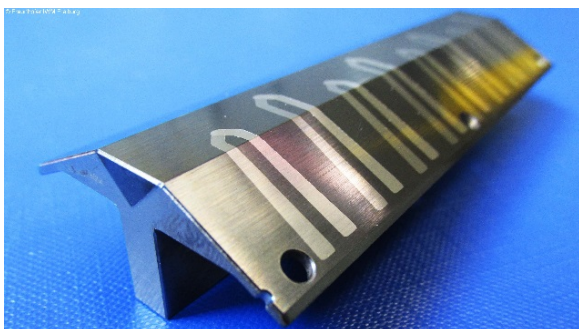
### Dynamische Heißsiegelprozesse für Verpackungen in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie unter Einsatz verbesserter Sensortechnik mit hoher Oberflächensensitivität (HePhaiStOs)

Bei der Herstellung von Folienverpackungen für Lebensmittel-, Kosmetik-, Pharmaprodukte, sowie der Produktion technischer Güter ist das Wärmekontaktfüge-verfahren nicht zuletzt wegen seiner vergleichsweise einfachen Handhabung weit verbreitet. Immer höhere Maschinengeschwindigkeiten, dünnere Folien und steigende Qualitätsanforderungen bedürfen jedoch einer Temperaturerfassung (und darauf basierend einer Regelung), denen klassische Temperaturfühler nicht mehr gerecht werden können.

Dünnschichtthermoelemente, abgeschieden auf der Werkzeugoberfläche, können die Temperaturverläufe hochdynamisch, orts aufgelöst und in unmittelbarer Nähe zur Kontaktzone der Folien erfassen. Vom Normalzustand abweichende Werte infolge Faltenbildung, Kontamination oder Nahtinhomogenitäten lassen sich damit inline erkennen. Die zuverlässige Ausschleusung von Packungen mit fehlerhafter Naht bis hin zur unmittelbaren Anpassung des Wärmestromes, der Fügezeit oder des Fügedruckes können so Produktsicherheit und Prozessstabilität erhöhen sowie Ausschuss und Ressourcenverbrauch auf ein Minimum beschränken.

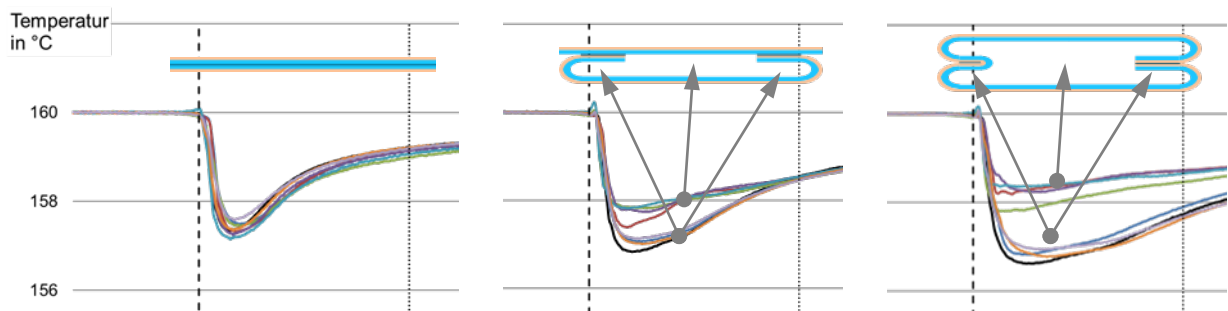
Das Vorhaben stellte sich den Herausforderungen, die eine Funktionalisierung von Fügewerkzeugen mit derartigen Temperatursensoren mit sich bringt. Dabei galt es zunächst, das meist metallische Werkzeugsubstrat atomar dicht elektrisch zu isolieren, sodass das nachfolgende Aufbringen der Leiterbahnen keinen Kurzschluss verursacht. Zum Schutz der Sensorleiterbahnen vor mechanischer Beschädigung war zudem eine Schutzschicht zu entwickeln, die auch gute Antihafteigenschaften aufweist. Schließlich musste eine gute Verbundhaftung zwischen den einzelnen Schichten sichergestellt werden. Ebenso wenig trivial war die Kontaktierung der nur wenige hundert Nanometer dicken Leiterbahnen mit den Ausgleichsleitungen, die die Sensoren mit dem Messverstärker verbinden.

Nach einer Vielzahl Tests mit beschichteten Mustersubstraten und -werkzeugen entstand ein Demonstrator (Abbildung 1) aus zwei Fügewerkzeugschienen, ausgestattet mit je 8 Messstellen, die über eine Kontaktierungsleiste mit einem Messverstärker verbunden sind.

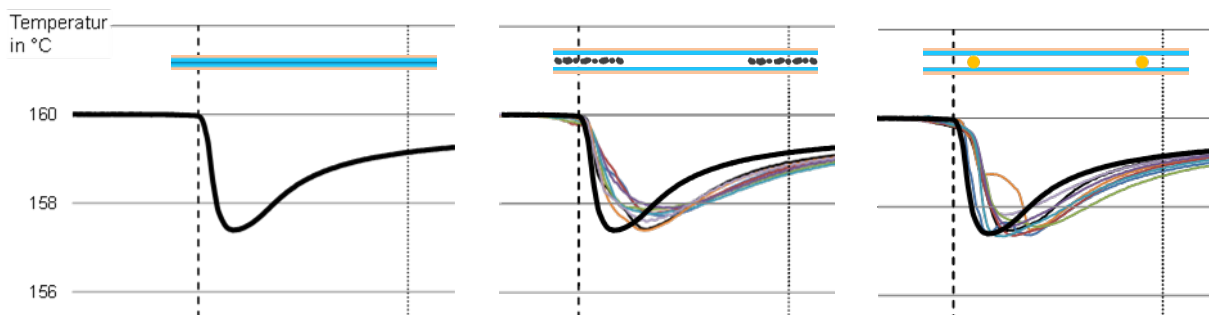


**Abbildung 1** Demonstrator eines funktionalisierten Fügewerkzeuges: Fügeschiene mit Isolations- und Thermoelementbeschichtung (l.), mit oxydischer Isolations- und Schutzbeschichtung implementiert in eine industriennahe Prozessumgebung (r.)

Mithilfe des Demonstrators wurden Parameterstudien unter Verwendung von PET/PE-, PET/AL/PE- bzw. PET/AL/PP-Verbunden jeweils mit unterschiedlichen Siegelschichtdicken durchgeführt. Inkludiert waren Versuche mit Lagensprüngen (Abbildung 2) und Kontamination (Abbildung 3). Ausgewählte Konstellationen wurden zur Validierung von numerischen Simulationsstudien begleitet.



**Abbildung 2** Temperaturverläufe über der Zeit am Beispiel eines PET<sub>12</sub>/PE<sub>70</sub>-Verbundes: für eine Zweilagensiegelung (Referenz) (l.), eine 3-auf-2-Lagesprungversiegelung (m.) und eine 4-auf-2-Lagesprungversiegelung (r.) jeweils mit den farbigen Temperaturverläufen für die einzelnen Sensoren



**Abbildung 3** Temperaturverläufe über der Zeit am Beispiel eines PET<sub>12</sub>/PE<sub>70</sub>-Verbundes: für eine Zweilagensiegelung (Mittelwert aus acht Sensoren als Referenz) (l.), für eine Siegelung durch pulverförmige Kontamination von 2x 5 mg auf je 250 mm<sup>2</sup> (m.) und für eine Siegelung durch faserförmige Kontamination mit 2x Ø500 µm (r.) jeweils mit den farbigen Temperaturverläufen für die einzelnen Sensoren

Nach Schließen des Werkzeuges (erste vertikale Linie) fällt die Temperatur am Sensor je nach Wärmeübergang, -leitung und -kapazität des Folienmaterials stark ab und beginnt noch vor dem Öffnen (zweite vertikale Linie) aufgrund des Wärmenachschubs aus dem Werkzeug wieder anzusteigen. In Abhängigkeit der Eigenschaften des Werkzeugsubstrates erfolgt diese Temperaturkompensation unterschiedlich schnell. Hiervon hängt auch ab, wie gut der ohnehin schnelle Sensor die tatsächlich in unmittelbarer Nähe der Folienkontaktzone vorherrschende Temperatur abbilden kann. Dabei stellt der Messwert eine Mittelung aus der Temperatur der Folien- und der Werkzeugoberfläche dar. Er verkörpert mithin die maximale Temperatur in der Folie, also einen Best Case.

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen deutlich, wie stark die Temperaturverläufe bei beabsichtigten Geometrieänderungen (Lagesprüngen) oder ungewollten Einflüssen (Falten, Kontamination) von der Referenz differieren. Verursacht wird dies durch die zusätzlichen Wärmekapazitäten und/oder variierenden Kontaktverhältnisse mit Verschlechterung des Wärmeübergangs. Es wurden zudem ausgewählte Korrelationen zwischen Temperaturverlauf und Nahtfestigkeit untersucht.

Für den Praxiseinsatz sind Referenzsiegelungen für den jeweiligen Folienverbund erforderlich, die als Sollwertkurven mit zulässigem Toleranzband hinterlegt werden. Optional können die Messdaten über selbstlernende Systeme ausgewertet werden. Bei Abweichungen vom Sollwert besteht das Risiko fehlerhafter Nähte. Welche minimalen Einflüsse aus dem Rauschen heraustreten und inwieweit diese kritisch für die Nahtqualität sind, müssen weitere Untersuchungen zeigen bzw. hängt vom betrachteten Einsatzfall ab.

Für die Auslegung von Werkzeugen, z.B. die erforderliche Anzahl und Anordnung von Sensoren für eine gewünschte Detektionsempfindlichkeit, kann das erarbeitete Simulationsmodell herangezogen werden, welches den Multilagendünnschichtaufbau des Werkzeuges als auch den Folienaufbau berücksichtigt.

Neben einer gezielten Wärmeflussmanipulation bei Stahlsubstraten zur vollständigen Erfassung des Temperaturabfalls zeichnete sich im Projekt Entwicklungspotenzial bezüglich der Standzeit und der Bewertung der Anhaftneigung von Schutzbeschichtungen ab, dem im bereits beantragten Nachfolgeprojekt RobInPro nachgegangen werden soll.

Von der Entwicklung adaptiver Werkzeuge, wie sie funktionalisierte Siegelschienen verkörpern, profitieren Maschinen- und Anlagenbauer, die ihre Prozesse noch besser auf packmittel- und packungsseitige Anforderungen ausrichten und eine individualisierte Produktion mit kleiner Losgröße unterstützen können. Besonders für die Pharma- und Medizinproduktebranche und zunehmend auch im Lebensmittelbereich sind eine lückenlose Rückverfolgbarkeit von Produktionsdaten und eine Inline-qualitätskontrolle unverzichtbar. Für Anbieter von Sensor- und Auswertetechnik besteht aufgrund der großen Verbreitung des Wärmekontaktverfahrens ein hohes Marktpotenzial.

Dünnschichtbasierte Sensoren sind auch für andere Verpackungsprozesse, wie z.B. das Thermoformen, sowie für andere thermische Prozesse, z.B. Spritzgießen, Heißprägen oder Extrudieren, von großer Bedeutung. Hier helfen u.a. oberflächennahe Temperatursensoren die sichere Ausformung bzw. eine hohe Oberflächengüte sicherzustellen und so Produktqualität und Prozesssicherheit zu steigern.

IVLV-Mitglieder können den vollständigen Projektabschlussbericht auf unserer Homepage herunterladen. Hierzu ist nur eine Anmeldung in der Rubrik „[Meine IVLV](#)“ erforderlich. Nicht-Mitglieder können den Abschlussbericht gegen einen Unkostenbeitrag bei der IVLV-Geschäftsstelle unter [office@ivlv.de](mailto:office@ivlv.de) anfordern.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das IGF-Vorhaben 18470 BG der Forschungsvereinigung Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e. V. – IVLV, Giggenhauser Str. 35, 85354 Freising, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) und –entwicklung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.