

Biofilme für die Prozessintensivierung

Prof. Ruth Freitag, Bioprozesstechnik, Prof. Andreas Greiner, Makromolekulare Chemie II,
Universität Bayreuth

Die industrielle Biotechnologie setzt biologische Komponenten wie Enzyme oder Organismen als Biokatalysatoren in der Produktion ein. Damit stellt sich die Frage nach einer möglichst effizienten Integration der biologischen Komponente in den technischen Prozess. Viele „natürliche“ Bioprozesse basieren darauf, dass sich spontan sogenannte Biofilme etablieren, deren spezifische metabolische Fähigkeiten dann technisch genutzt werden, z. B. in Kläranlagen oder bei der Essigsäureproduktion. Allerdings sind solche natürlichen Biofilme hochkomplexe, extrem dynamische und wenig stabile, wenig anpassungsfähige Gebilde, die sich für viele potentielle Anwendungen in der industriellen Biotechnologie nicht adaptieren lassen. Dies gilt insbesondere dann, wenn nicht Organismenkonsortien, sondern die Stoffwechsellleistungen einzelner Spezies für die Umsetzung benötigt werden.

Wir halten das Biofilm-Engineering für eine zentrale Querschnittstechnologie in der industriellen Biotechnologie und postulieren, dass prozessangepasste künstliche Biofilme, sogenannte Bio-Komposite, bei denen die Organismen („Ganzzellbiokatalysatoren“) in eine maßgeschneiderte synthetische Polymermatrix eingebettet werden, wesentlich zur Intensivierung und Langzeitstabilität industrieller biotechnologischer Prozesse beitragen können.

Im Rahmen von BayBiotech wurden das Grundkonzept des künstlichen Biofilms verifiziert, sowie exemplarische Anwendungen in drei wesentlichen Bereichen der industriellen Biotechnologie etabliert und validiert: der Umweltbiotechnologie (Nitritabbau), der Energietechnik (mikrobielle Brennstoffzelle) sowie der biotechnischen Synthese von Naturstoffen (organische Säuren). Zur Herstellung dieser artifiziellen Biokomposite wurden konventionelle Herstellungsprozesse der Polymerverarbeitung, wie Sprühtrocknungs-, Nassspinn- und Elektrosppinnverfahren adaptiert. Dadurch entstanden verschiedene Strukturen wie Hohlkapseln, Mikrofasern und Vliese aus Bakterien/Hydrogel-Suspensionen, sogenannte Biokomposite. Die biologische Aktivität der Bakterien bleibt dabei erhalten. Darüber hinaus ist es möglich Biofilme mit Mikroorganismen zu formen, welche in der Natur keine oder nur instabile Biofilme ausbilden. Dadurch wird ein signifikanter technischer Fortschritt erreicht.

Im Bereich der Immobilisierung von Bakterien konnte ein neues System zur Herstellung lebender Biokomposite gezeigt werden. Es wurden wasserstabile Fasersysteme hergestellt, die eine große Menge von Biokompositpartikeln benötigten. Die Herstellung solch großer Mengen erfolgte durch die Etablierung eines speziellen Sprühtrocknungsprozesses. Lebende Bakterien wurden nach dem Sprühtrocknen in den Hohlkapseln nachgewiesen. Die wasserlöslichen Bakterien-Hohlkapseln konnten in einem zweiten Schritt erfolgreich zu wasserstabilen Polymerfaservliesen verarbeitet werden. Diese Polymerfasersysteme finden ihre zukünftigen Anwendungen unter anderem in der Abwasseraufbereitung¹.

¹Reich S, Kaiser P, Schmalz H, Rhinow D, Freitag R und Greiner A: Polymer/Bacteria Capsules Spray Dried at High Temperatures, eingereicht bei *Macromol. Biosci.*, 2018

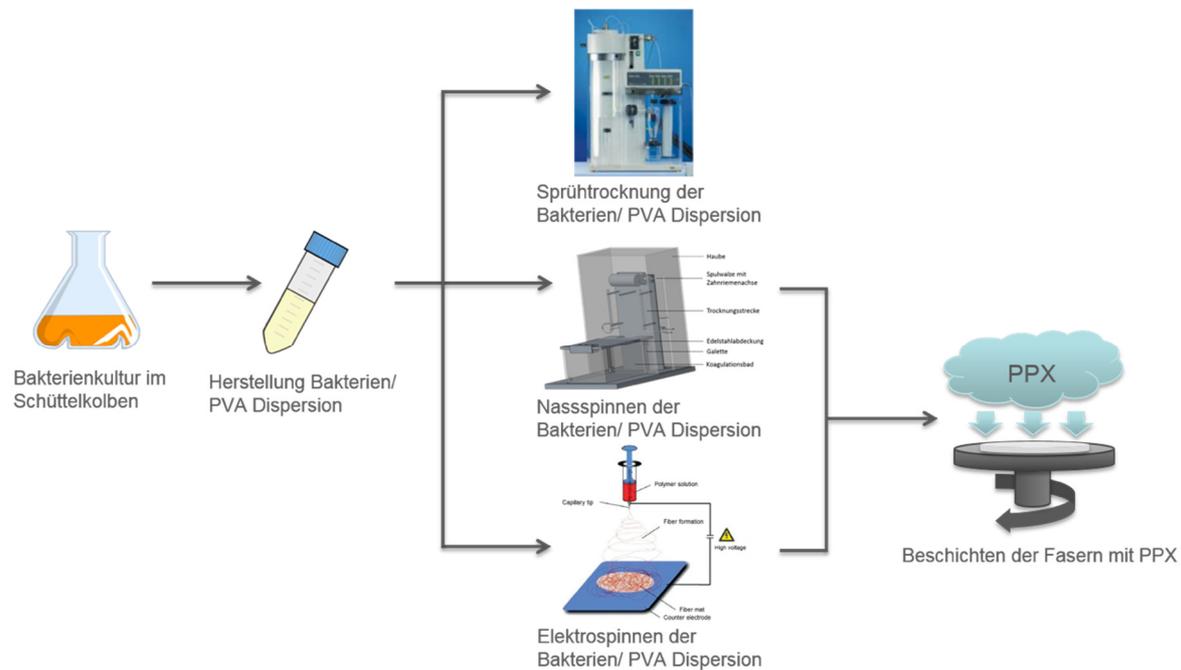


Abbildung: Herstellung von Bakterienkompositen mittels Sprühtrocknen, Nassspinnen und Elektrospinnen (PVA: Polyvinylalkohol; PPX: poly(p-Xylylen))

Im Bereich der Umweltbiotechnologie konnte gezeigt werden, dass Mikroorganismen wie *Nitrobacter winogradskyi* eingebettet in Mikrofasern in der Lage sind, hohe Nitritkonzentrationen von 8 g/L in wässrigen Medien innerhalb von 48 Stunden abzubauen. Im Gegensatz zu freien Mikroorganismen sind die Bakterien in den Biokompositen vor harschen Umwelteinflüssen geschützt. Diese neue Technologie könnte eine wichtige Rolle in der zukünftigen Thematik der Denitrifikation von Grundwasser spielen².

Im Bereich der Energietechnik können die Biokompositen zu einer wesentlichen Steigerung der elektrischen Leistung in mikrobiellen Brennstoffzellen beitragen. Der Einsatz von Biokompositen mit dem Mikroorganismus *Shewanella oneidensis* führte im Vergleich zum natürlich gebildeten Biofilm zu einer Verdoppelung der elektrischen Leistungsdichte. Gleichzeitig sind die Biokompositen im Gegenzug zum natürlichen Biofilm in der Anwendung, Reproduzierbarkeit und Stabilität besser. Daher können artifizielle Biokomposite dazu beitragen, wichtige Aspekte wie Design, Scale-up und Monosepsis in mikrobiellen Brennstoffzellen zu lösen³.

Im Bereich der chemischen Synthese konnte erfolgreich gezeigt werden, dass die Bakterien durch die Einbettung in das PVA-Hydrogel vor äußeren Einflüssen wie einem pH-Shift geschützt sind. Dadurch sind sie in der Lage beispielsweise wachstumshemmende organische Säuren wie Propionsäure in mehr als doppelt so hohen Konzentrationen zu produzieren als zum Vergleich in planktonischer Kultur. Diese Technologie kann auch auf Produktionsprozesse übertragen werden, bei denen eine Produktinhibierung vorhanden ist.

²Kaiser P, Reich S, Greiner A und Freitag R: Preparation of biocomposite microfibers ready for processing into biologically active textile fabrics for bioremediation, *Macromol Biosci.*, Jun 12:e1800046, 2018

³Kaiser P, Reich S, Leykam D, Willert-Porada M, Greiner A und Freitag R: Electrogenic Single-Species Biocomposites as Anodes for Microbial Fuel Cells, *Macromol. Biosci.* 17(7), 2017