

Einleitung

Photoakustische Spektroskopie (PAS) stellt eine Form der Absorptionsspektroskopie dar, welche im Vergleich zu konventionellen Methoden (z.B. UV/Vis- und NIR-Transmissionsspektroskopie) folgende Vorteile bietet:

- Messbereich über mehrere Größenordnungen
- Absorptionsspektroskopie an opaken Flüssigkeiten und Feststoffen ist ohne Probenvorbereitung möglich
- Möglichkeit der tiefenaufgelösten Untersuchung geschichteter Proben

Grundlagen



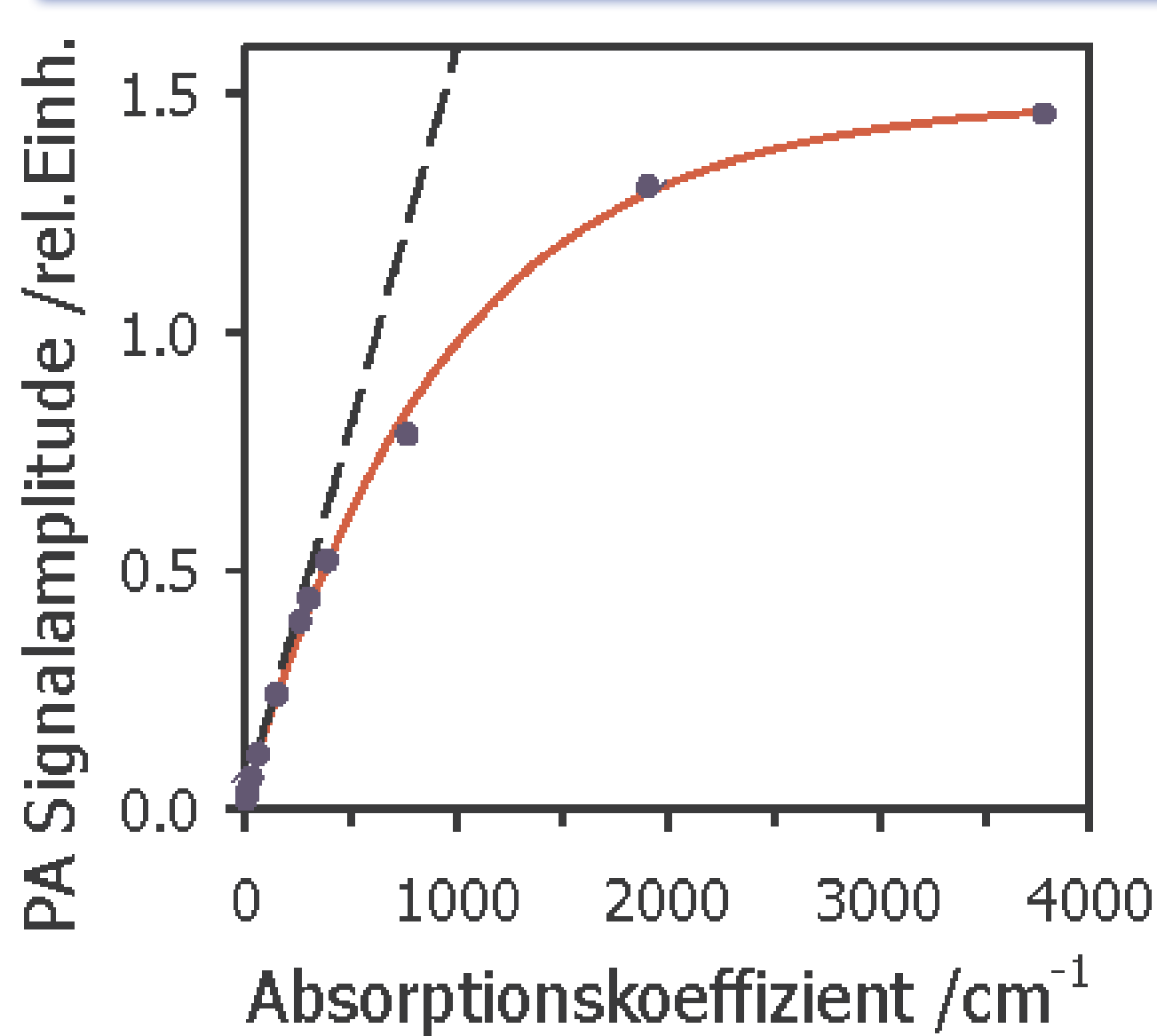
Absorption
des Laserpulses
in der Probe

**Erwärmung
und Expansion**
der Probenmatrix

Ausbildung von
Druckpulsen
in der Probe

PAS basiert auf der Absorption elektromagnetischer Strahlung in einer Probe. Durch strahlungslose Relaxationsprozesse wird die absorbierte Energie in Wärme umgewandelt. Thermische Expansion der Probenmatrix führt zur Ausbildung von akustischen Wellen, welche mit drucksensitiven Sensoren erfasst werden können.

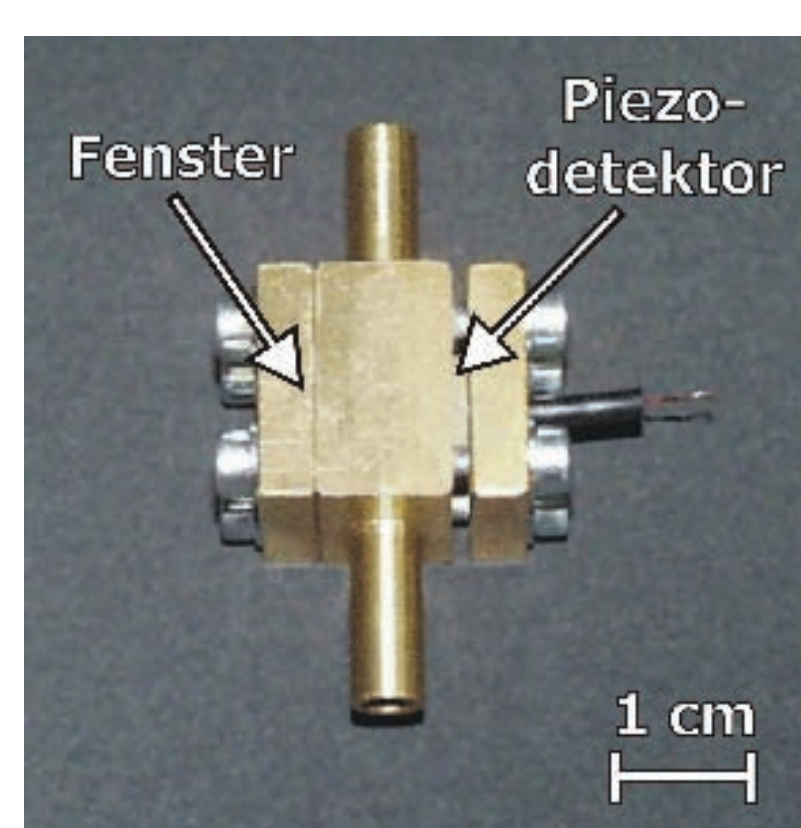
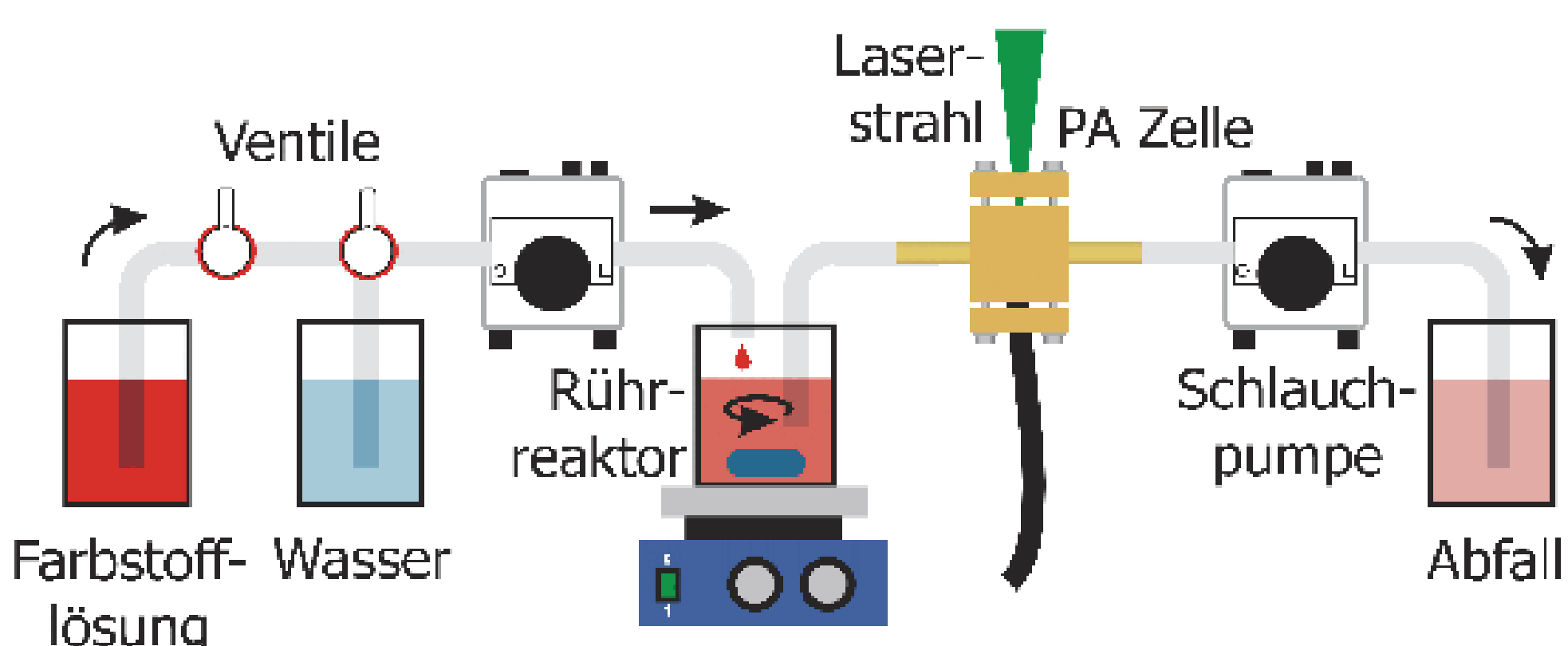
PAS an opaken Flüssigkeiten



PAS ermöglicht die Bestimmung von **Absorptionskoeffizienten über mehrere Größenordnungen**. Selbst opake Lösungen lassen sich ohne vorherige Verdünnung untersuchen. Lichtstreuende Partikel in der Probe erzeugen kein photoakustisches Signal.

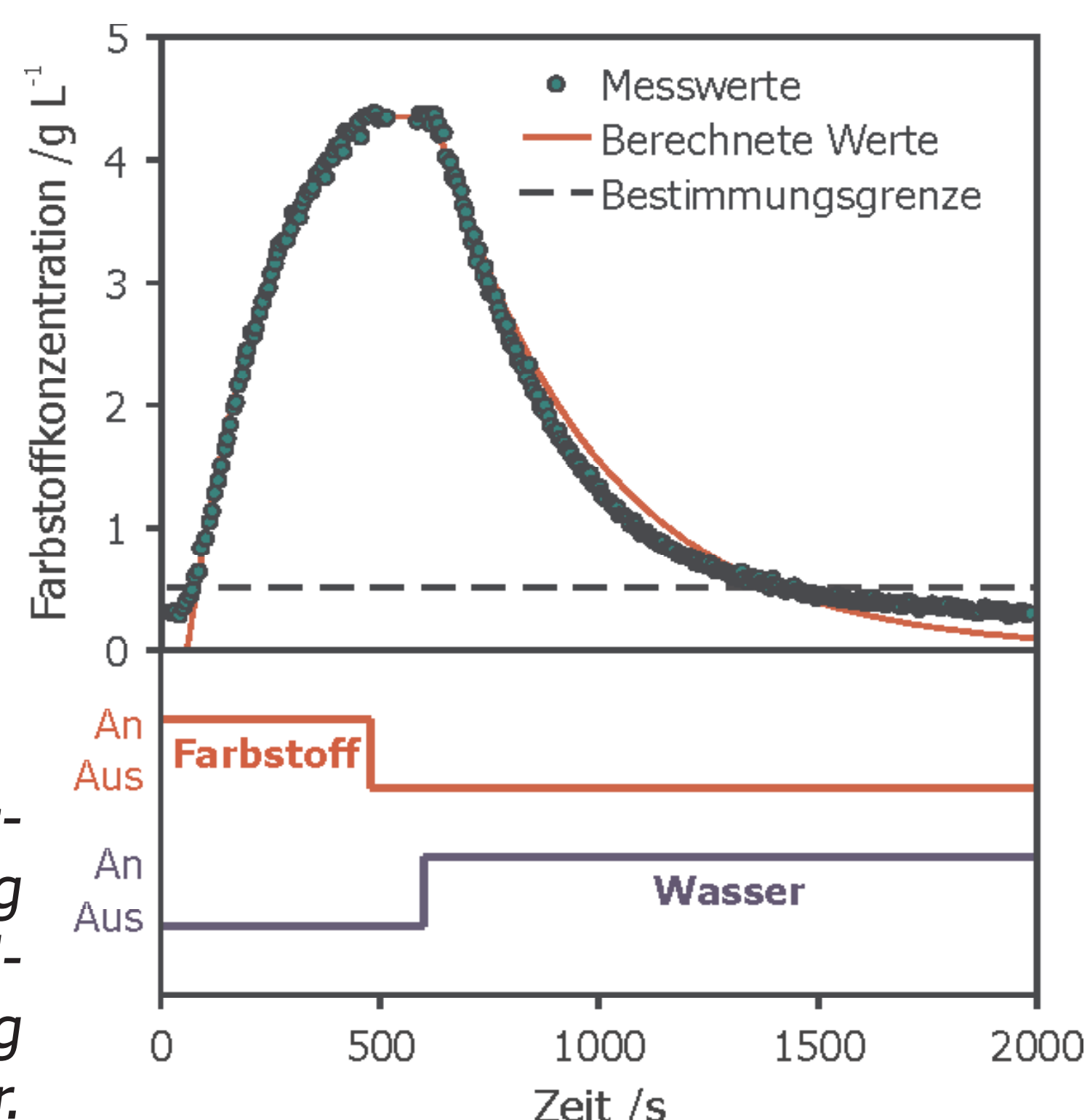
Linearbereich ca. 0.1 ... 150 cm⁻¹
Messbereich (Exponentialfunktion) ca. 0.1 ... 1000 cm⁻¹

Online-Monitoring von Textilfärbeprozessen



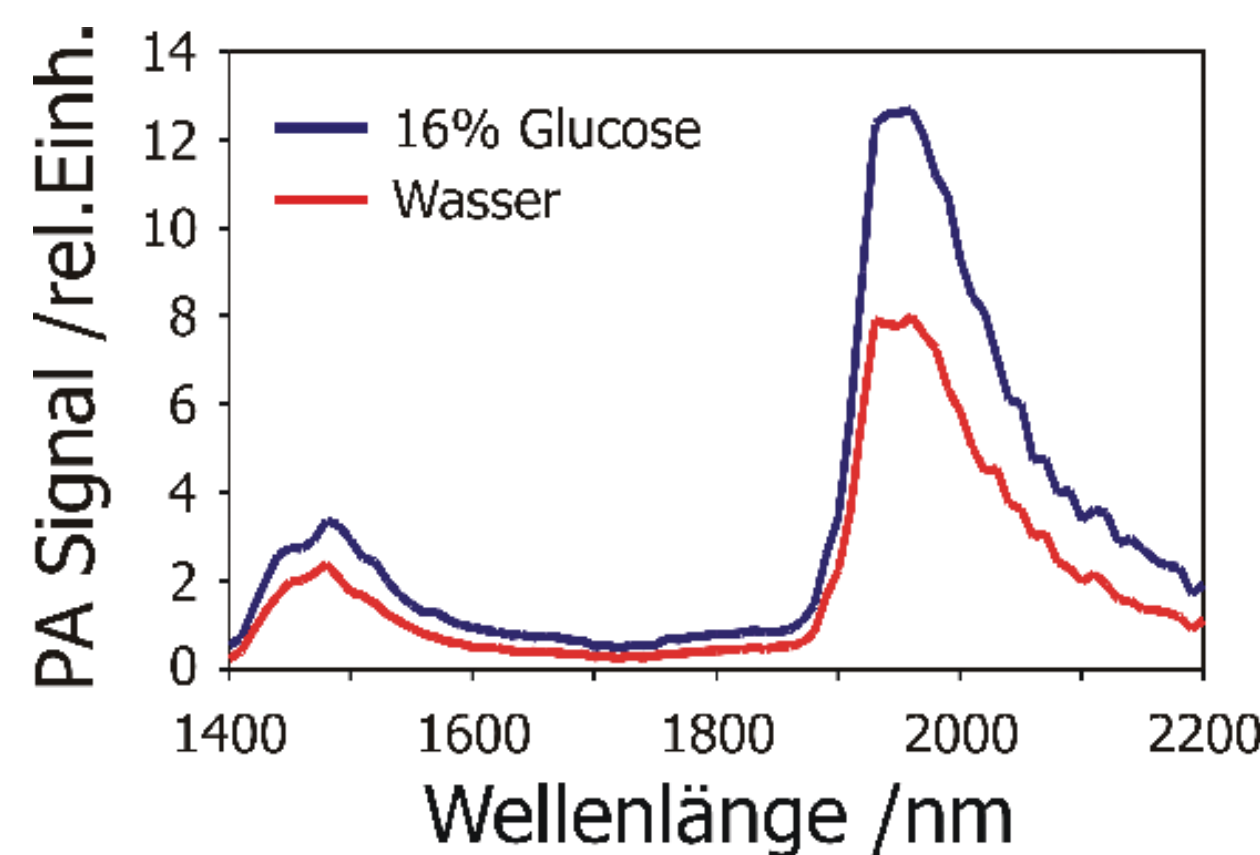
Photoakustische Durchflusszelle zum Online-Monitoring von Textilfärbeprozessen

Photoakustische Messungen am Auslauf eines Rührreaktors: Mischung von Wasser mit einem roten Textilfarbstoff gefolgt von der Verdünnung des Reaktorinhalts mit Wasser.

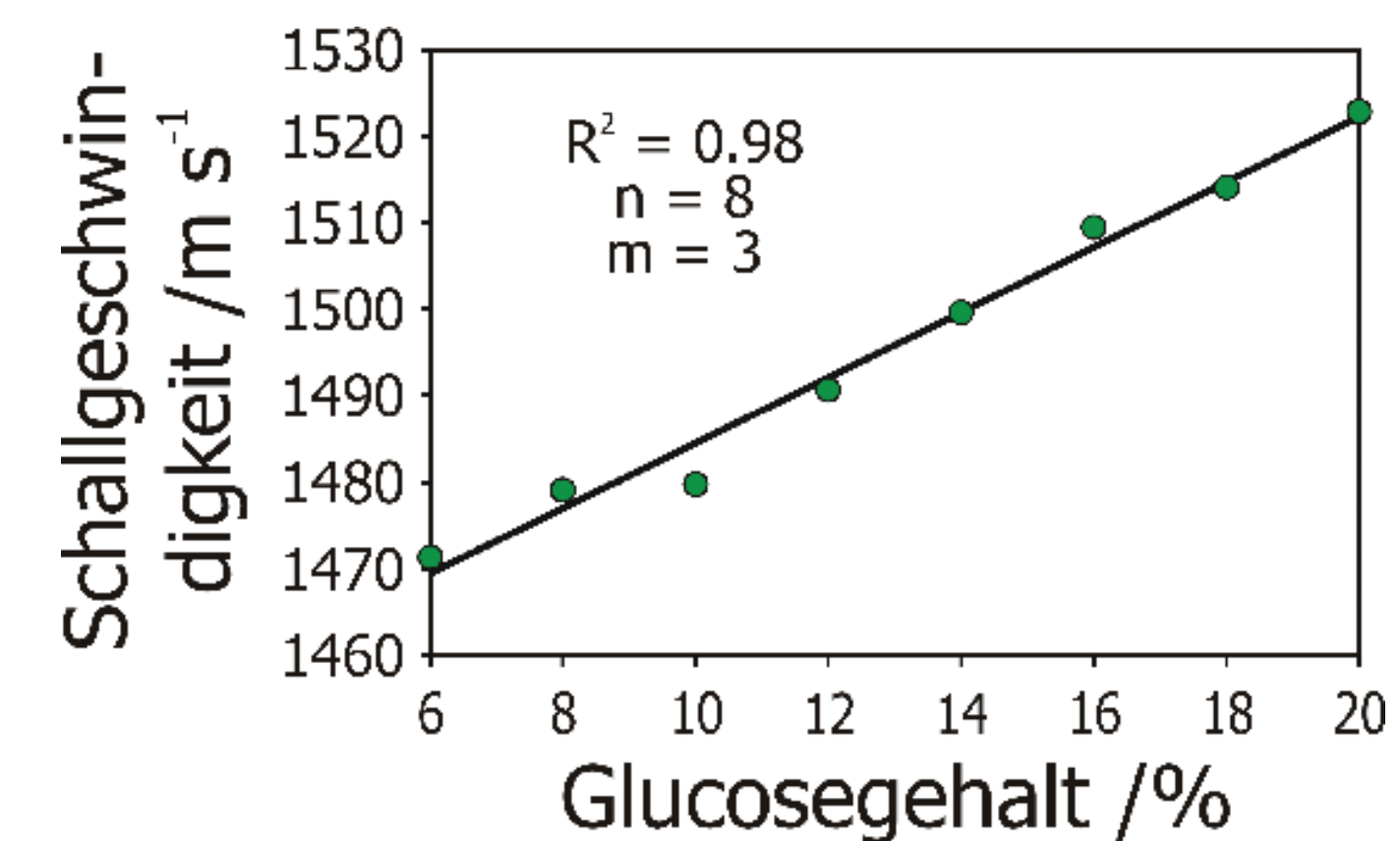


NIR-Spektroskopie mittels PAS

Konventionelle NIR-Spektroskopie an wässrigen Proben ist durch Sättigungseffekte im Bereich intensiver Absorptionsbanden von Wasser (z.B. bei 1450 und 1950 nm) eingeschränkt. Mittels PAS lassen sich NIR-Spektren wässriger Proben **ohne Sättigungseffekte** aufzeichnen. Außerdem kann die **Schallgeschwindigkeit** bestimmt werden, welche als zusätzlicher Parameter zur Kalibrierung herangezogen werden kann.



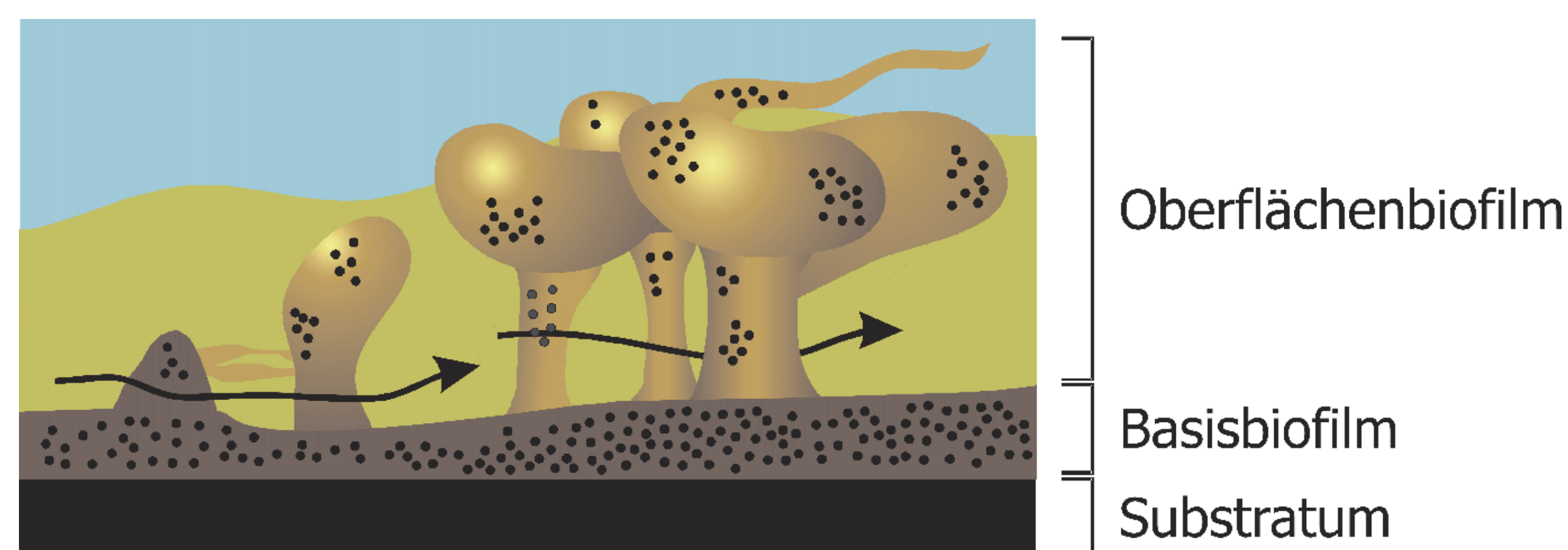
Photoakustische NIR-Spektren von Wasser und einer Glucoselösung



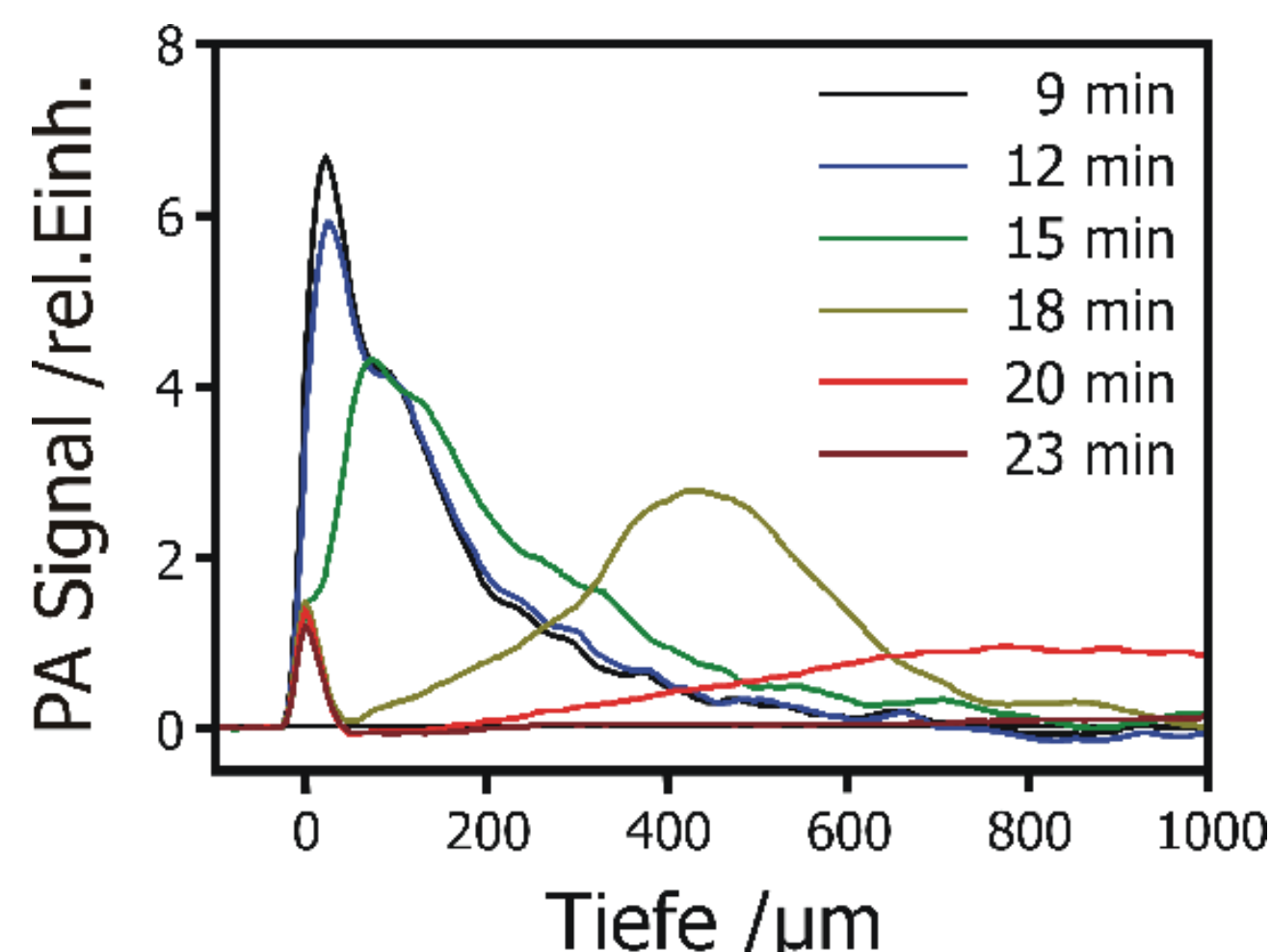
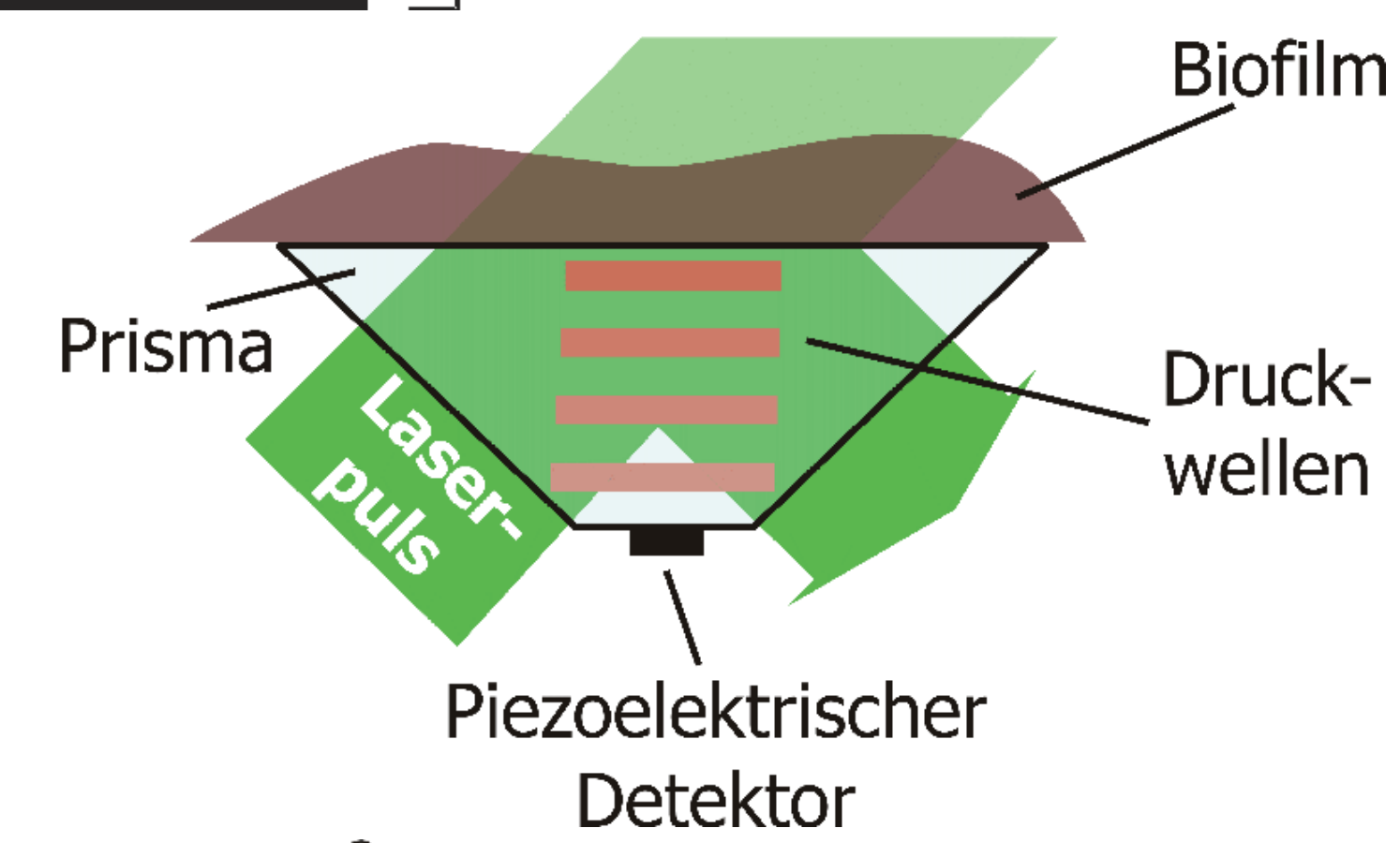
Schallgeschwindigkeiten unterschiedlich konzentrierter Glucoselösungen

PAS an Biofilmen

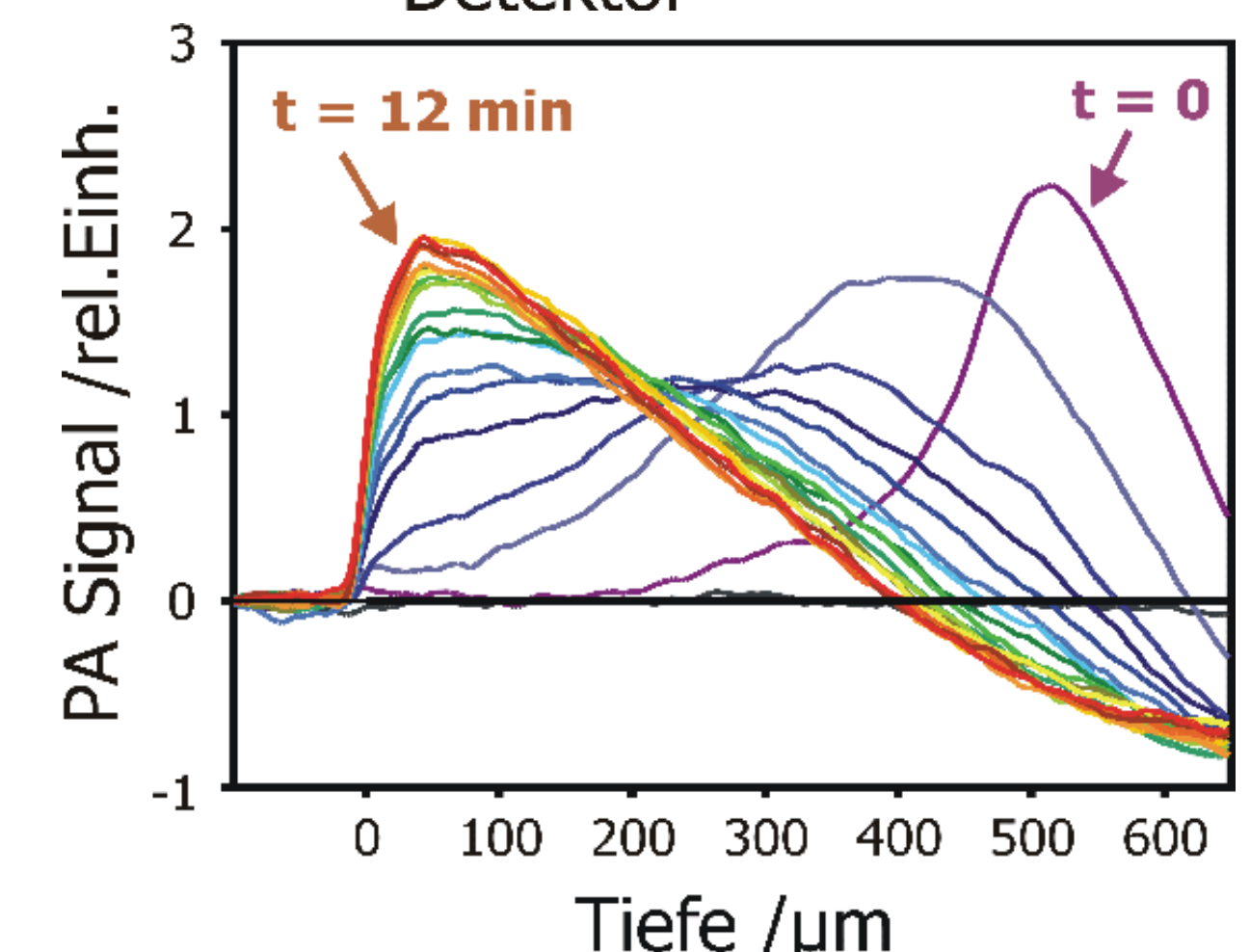
Biofilme sind Aggregate von Mikroorganismen, die in eine Gelmatrix aus Wasser und Biopolymeren eingebettet sind. Biofilme können praktisch alle Oberflächen in der Natur bewachsen und werden in Kläranlagen zum Abbau von Schadstoffen eingesetzt. Der Begriff „Biofouling“ bezeichnet die Auswirkungen unerwünschter Biofilmbildung in technischen Prozessen. Sowohl zur Prozessoptimierung in Kläranlagen als auch zur Entwicklung von Bioziden wird eine Messtechnik zum Online-Monitoring von Biofilmen benötigt.



PAS ermöglicht die Verfolgung von Biofilmwachstum und -ablösung mittels Absorptionsmessungen im sichtbaren Spektralbereich. Durch Laufzeitmessungen der erzeugten Druckpulse sind **tiefenaufgelöste Messungen** mit einer Auflösung von ca. 10 µm zugänglich.



Abschälen des Oberflächenbiofilms nach Zugabe von 200 mg L⁻¹ H₂O₂



Diffusion eines Azofarbstoffs in eine 500 µm dicke Hydrogelschicht

Zusammenfassung

PAS eröffnet im Bereich der Online-Prozesskontrolle Anwendungsfelder, bei denen der Einsatz konventioneller absorptionsspektroskopischer Techniken aufgrund intensiver Lichtabsorption und -streuung eingeschränkt ist. Dazu zählen beispielsweise die Überwachung von Textilfärbeprozessen und die zerstörungsfreie Zuckerbestimmung in Lebensmitteln. Beim Online-Monitoring von Biofilmen liefern tiefenaufgelöste PA Messungen zusätzliche Informationen über die Prozesse, welche in diesen mikrobiellen Aggregaten ablaufen.

Danksagung

Die Autoren danken der DFG für die finanzielle Unterstützung.