

# Entwicklung miniaturisierter, textilbasierter Bio-Sensoren

J. Wendler<sup>1</sup>, A. Nocke<sup>1</sup>, A. Schröter<sup>2</sup>, D. Aibibu<sup>1</sup>,  
G. Gerlach<sup>2</sup>, Ch. Cherif<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Textilmaschinenbau und textile Hochleistungs-  
werkstofftechnik der TU Dresden

<sup>2</sup> Institut für Festkörperelektronik der TU Dresden

# Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Konzept
3. Verfahren und Materialien
4. Ergebnisse
5. Zusammenfassung und Ausblick

Danksagung

# 1 Einleitung und Motivation

## Wund-Monitoring – ein ungelöstes Problem

Wundtypen:

- ▶ Akute
- ▶ Chronisch:
  - Ulcus Cruris (Unterschenkelgeschwür)
  - Diabetisches Fußsyndrom (DFS)
  - Decubitus (Wundliegegeschwür)
  - Wunden nach chirurgischen Eingriffen
  - Schwere Verbrennungen

→ In Deutschland leiden 4 Millionen Menschen an chronischen Wunden

→ Therapiekosten betragen 4 - 5 Mrd. €/a



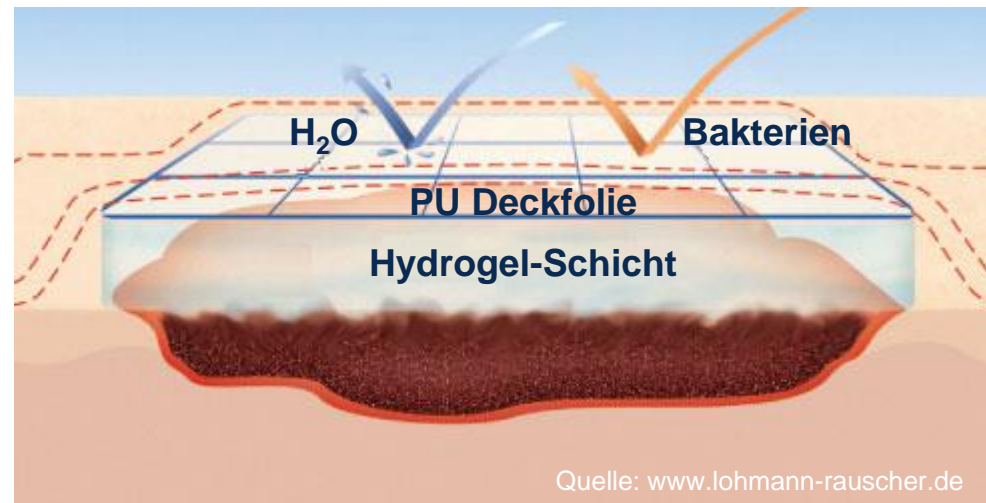
Chronische Wunde: Ulcus Cruris

# 1 Einleitung und Motivation

## Wund-Monitoring – ein ungelöstes Problem

Wundbehandlung – klinische Praxis:

- ▶ Trockene Behandlung:
  - Saugfähige Textilien
  - Wundverbandwechsel 24 – 48 h
  - Störung der Wundmilieus
  - Keine Infektionskontrolle
- ▶ Hydroaktive Behandlung:
  - z. B. Hydrocolloide, Hydrogele
  - Wundverbandwechsel 4 – 7 Tage
  - Keine Infektionskontrolle



Quelle: [www.lohmann-rauscher.de](http://www.lohmann-rauscher.de)

Hydroaktive Behandlung

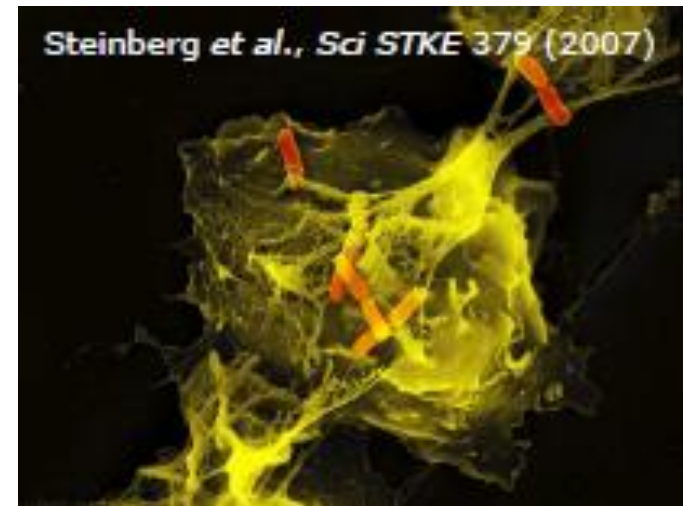
### → Notwendigkeit von Infektions-/Wundmonitoring:

- Sofortige Erkennung von Infektionen - entsprechende Behandlung,
- Weniger Wundverbandwechsel (entsprechen derzeit 90% der Gesamtbehandlungskosten)

# 1 Einleitung und Motivation

## Infektiöse / Entzündete Wunde:

- ▶ durch komplexe zelluläre Prozesse charakterisiert
- ▶ Charakteristika des Wundexsudats lässt auf Wundzustand schließen, z. B.:
  - **pH-Wert** → Langzeitwerte über 7,5 sind eindeutige Indikator für gestörten Wundheilungsprozess<sup>1</sup>
  - Konzentration von **Neutrophil Extracellular Traps (NETs)**:
    - durch neutrophile Granulozyten gebildet
    - reagieren auf jegliche Bakterien
    - nach Infektion: erhöhte Granulozytenzahl
    - charakteristische Änderung des Wundexsudats
    - Erscheinung: Fasern mit  $\varnothing$  15 ... 17 nm
    - schließen Bakterien ein
  - Temperatur, Laktat-Gehalt, Reaktive Sauerstoff Spezies (ROS), Wundfeuchtegrad und -viskosität



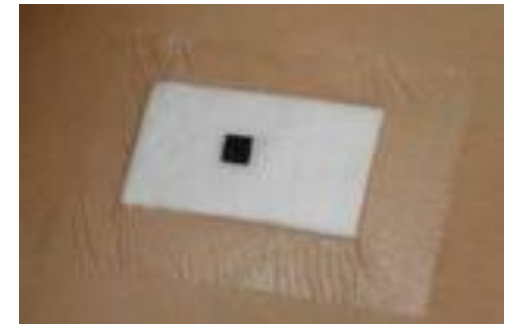
NET mit eingeschlossenen Bakterien

<sup>1</sup>Schneider, L. et al.: Influence of pH on wound-healing: a new perspective for wound-therapy?. Arch Dermatol Res 298(2007)9, pp. 413-420

## 2 Konzept

### Anforderungen an einen Sensor für das Wundmonitoring

Anforderung	Impedimetrisch	Optisch
Textiler Aufbau	+	0
Biokompatibilität	0	+
Messgenauigkeit	0	-
Kostenfaktor	+	-
Komplexität	+	-



Wundverband mit Impedanzsensor

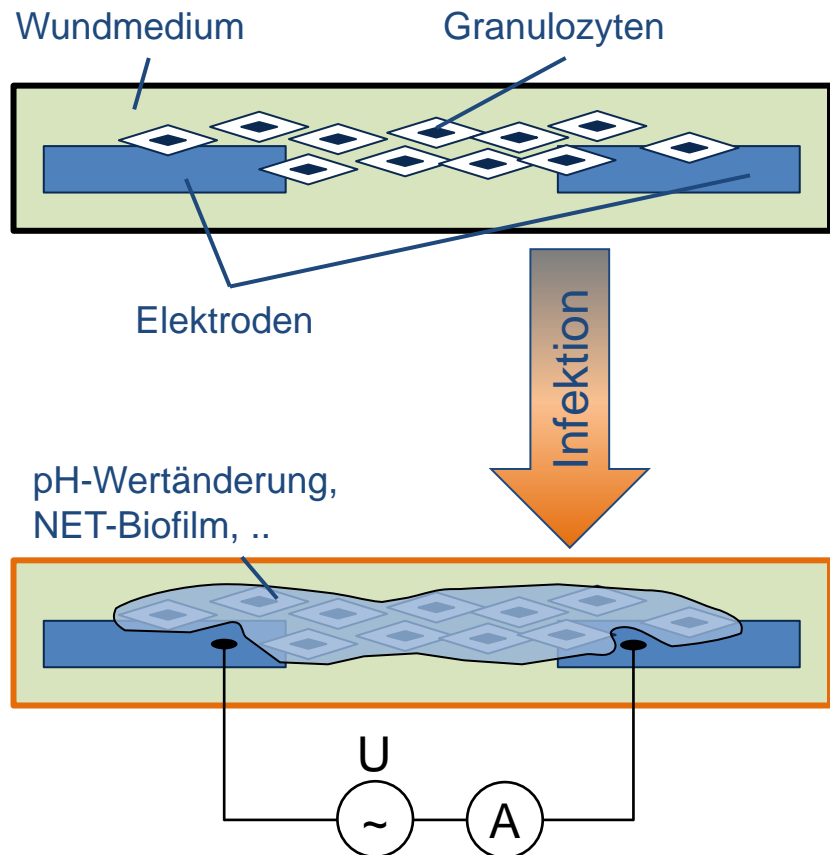


Optischer Sensor für medizinische Anwendungen

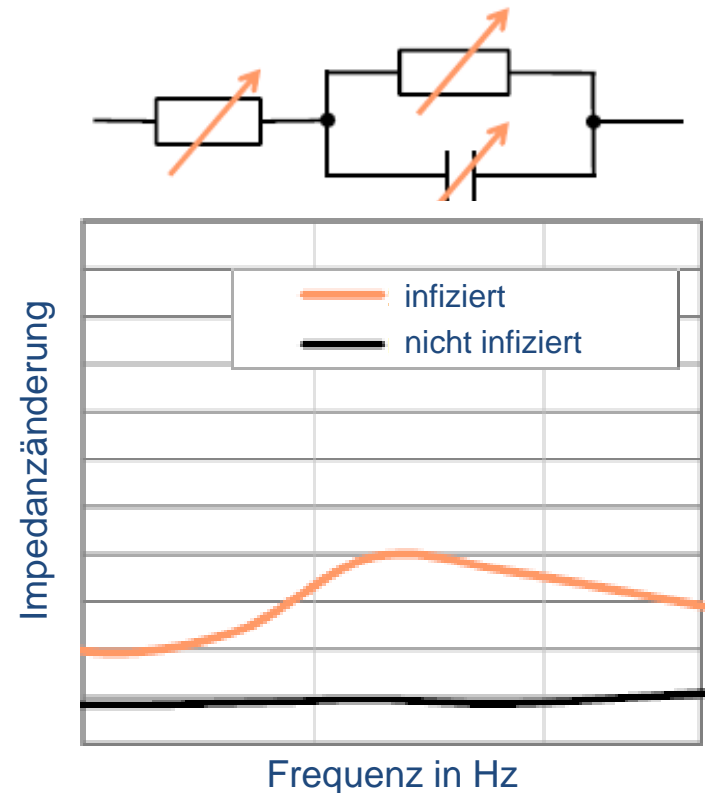
## 2 Konzept

### Impedanzmessung des Wundheilprozesses

Grundprinzip (planarer Aufbau):

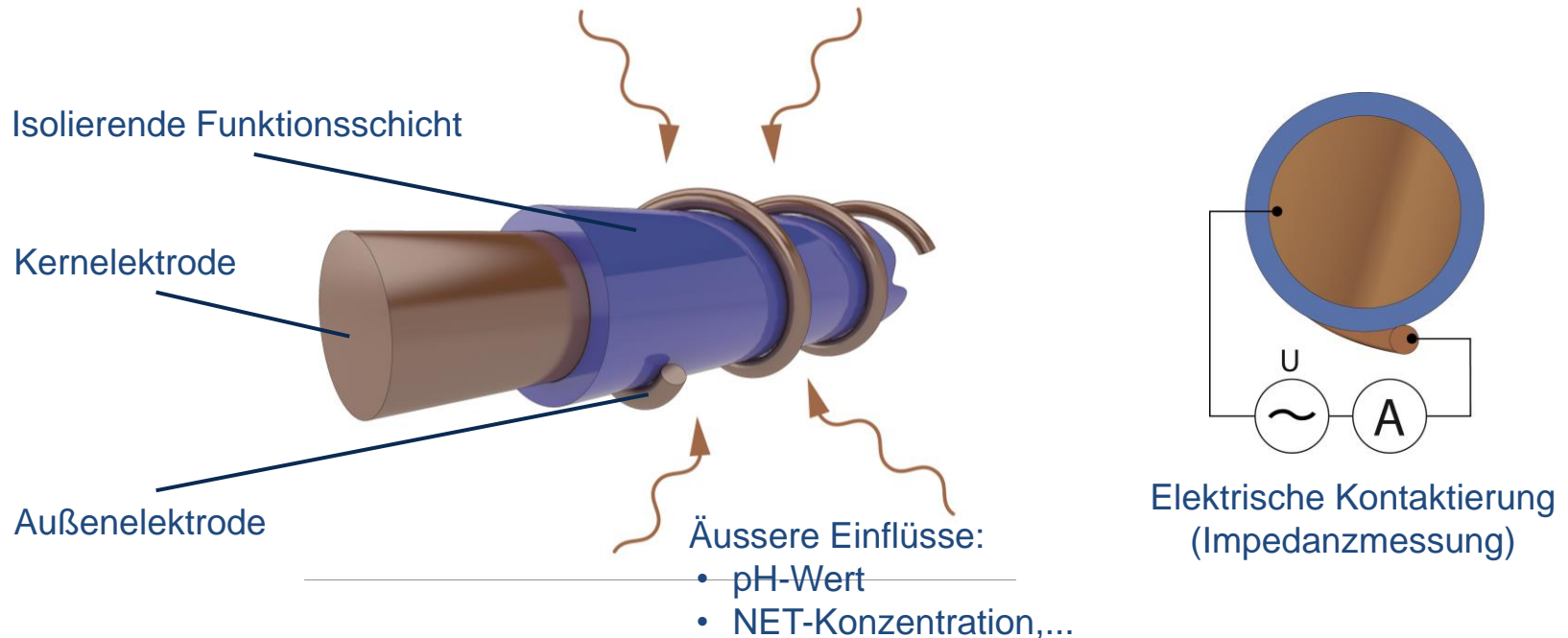


Entsprechende Schaltung und  
aufgenommene Signalkurve:



## 2 Konzept

### Impedanzmessung mit einem textilbasierten Mehrschichtsensor



- ▶ Funktionsschicht reagiert auf Änderung des Wundzustands: Quellung / Änderung der elektrischen Eigenschaften (Ionenleitvermögen, Kapazitätsänderung, ...)
- Änderung der Impedanz



## 2 Konzept

### Einbindung des Sensors und Signalübertragung

- ▶ Textilbasierter Mehrschichtsensor mit wundspezifischen Empfindlichkeiten
  - ▶ Anbindung der Sensor-Netzwerk-Konfiguration an den Wundverband (textiltechnologisch oder adhäsiv)
  - ▶ Datentransfer und –verarbeitung an eine elektronische Kontrolleinheit
  - ▶ Aufbringen des Wundverbandes auf die chronische Wunde
- Drahtloses Wundmonitoringsystem (bspw. via RFID-Technik)



## 3 Verfahren und Materialien

### Anforderungen an die Materialien

#### ► Funktionsschicht:

- Aufnahme von Wundexsudat
- Reagiert auf Änderung von pH-Wert, NET-Konzentration, ...
- Biokompatibilität
- Nichtleiter

→ Hydrogele wie Poly(Vinylalkohol) / Poly(Acrylsäure) (PVA/PAA)

→ Chitosan

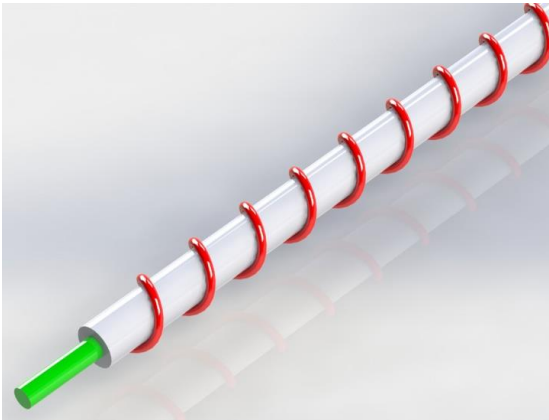
#### ► Elektroden:

- Leitfähigkeit
- Biokompatibilität (oder komplette Beschichtung mit biokompatiblen Material)
- Flexibilität

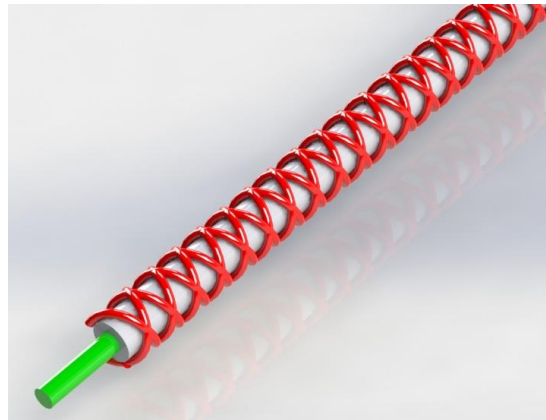
→ Ti-, Au-, (Ag-) Drähte bzw. Garne mit leitfähiger Beschichtung

## 3 Verfahren und Materialien

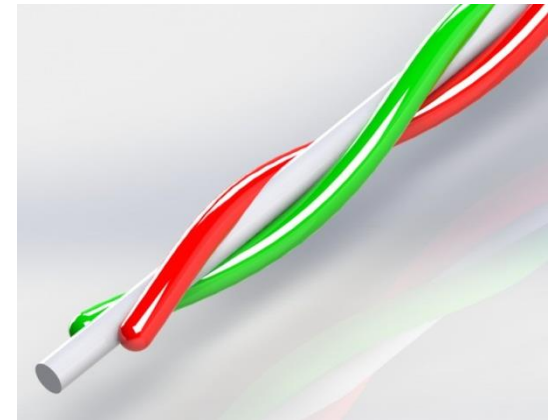
### Konstruktion eines textilbasierten Mehrschichtensors:



Kern- und Helix-Elektrode



Kern - und geflochtene  
Deckschicht-Elektrode



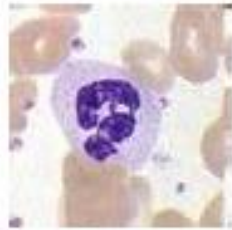
Doppel-Helix-Elektroden

### Geräte:

- ▶ Umwindemaschinen
- ▶ Flechtmaschinen
- ▶ Zwirnmaschinen
- ▶ Friktionsspinnmaschinen
- ▶ Direktgarnfertigung während/nach Chemiespinnprozess (Chitosan)

## 3 Verfahren und Materialien

### Impedanzmessung (pH-Wert)



[www.roche-applied-science.com](http://www.roche-applied-science.com)



[www.inphaze.com](http://www.inphaze.com)

Menschliche Granulozyten  
(aktiviert durch PMA) /  
Lösung mit definiertem  
pH-Wert

Probenträger mit  
Integriertem Sensor

Frequenzabhängige  
Impedanzanalyse  
(Inphaze, ScioSpec)

#### Herausforderungen:

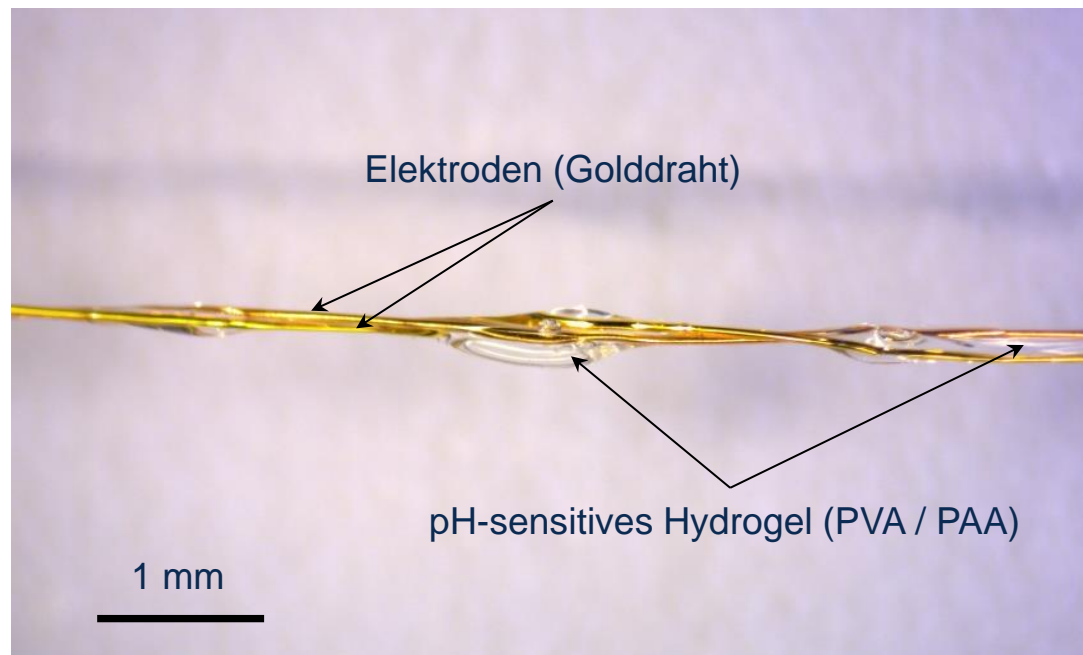
- Ideale Erregerfrequenz
- Signalqualität und Signalintensität
- Prozesszeit

## 4 Ergebnisse

### Impedanzmessung (pH-Wert)

Aufbau: Textilbasierter Mehrschichtsensor

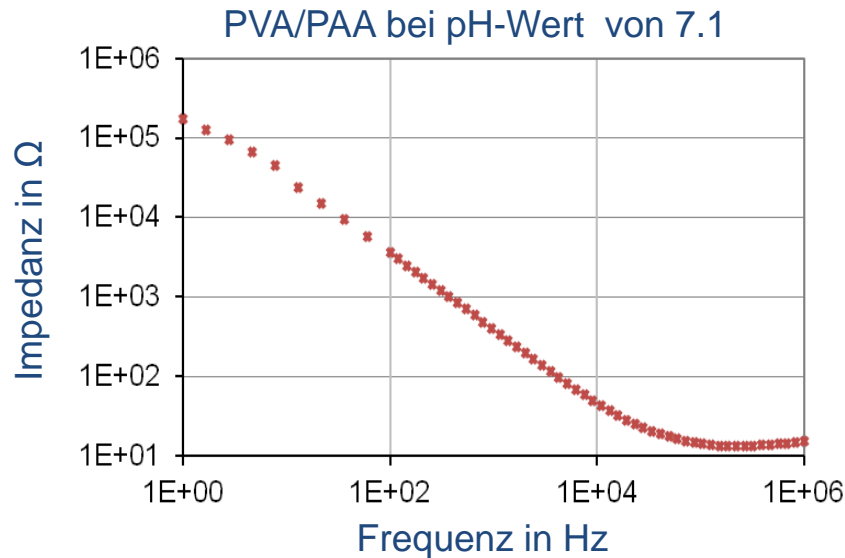
- ▶ Verzwirnter Golddraht als Elektroden
- ▶ pH-sensitives Hydrogel (PVA/PAA) als Funktions- und Deckschicht



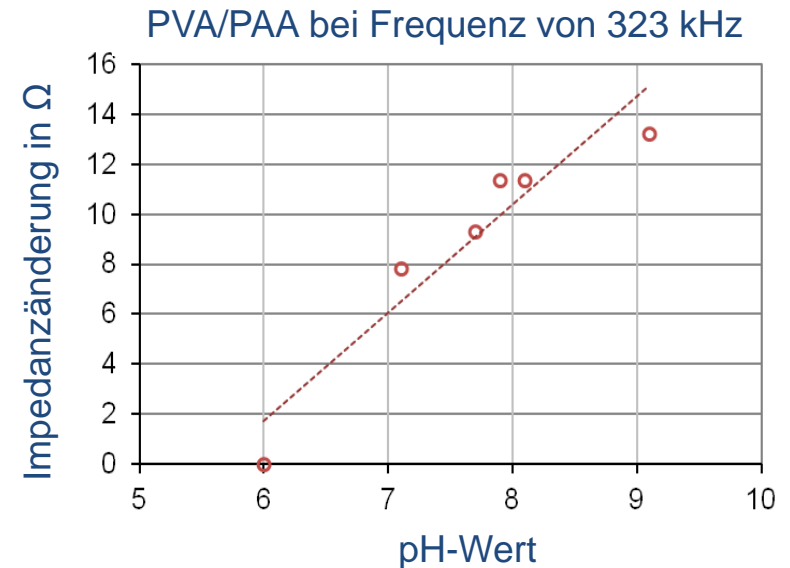
## 4 Ergebnisse

### Impedanzmessung (pH-Wert)

Sensorcharakteristika:



Impedanzspektrum in Abhängigkeit der Erregerfrequenz bei konstantem pH-Wert von 7.1



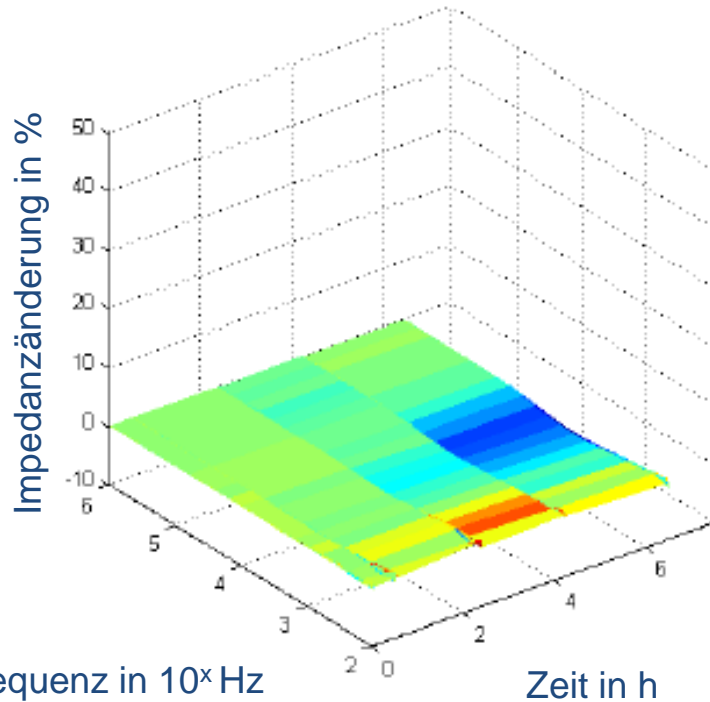
Impedanzänderung in Abhängigkeit vom pH-Wert bei konstanter Messfrequenz von 323 kHz

→ **pH-Sensitivität  $\approx 5 \Omega / \text{pH}$**

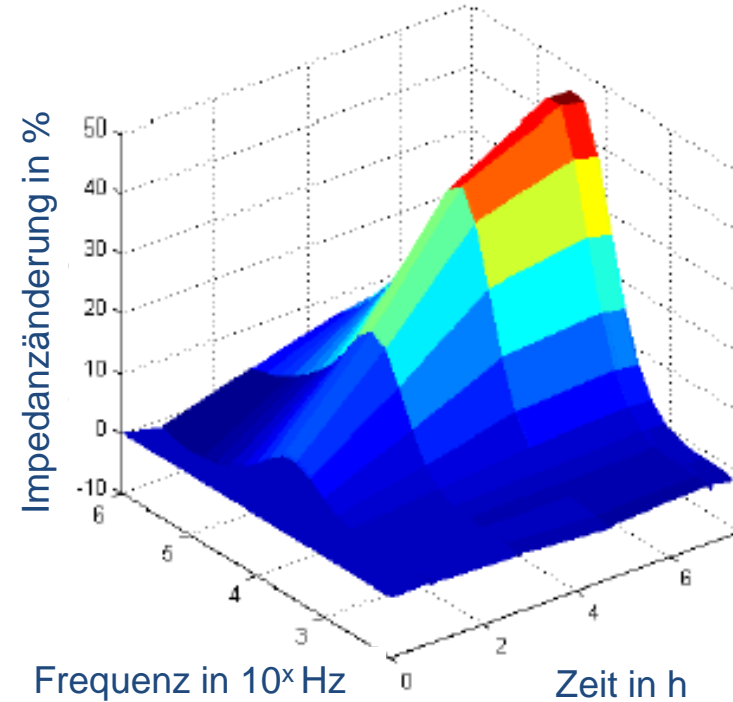
# 4 Ergebnisse

## Impedanzmessung (NET-Konzentration)

Nicht angeregte Zellen



Angeregte Zellen (Infektion)



Quelle: Schröter, A., Rösen-Wolff, A., and Gerlach, G., "Impedance-based detection of extracellular DNA in wounds," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 434, no. 1, p. 12057, 2013.

# 5 Zusammenfassung und Ausblick

## Zusammenfassung

- ▶ Untersuchung der Impedanzeigenschaften mit planarem und textilbasiertem Messsystemen
- ▶ Spezifische impedimetrische Untersuchungen in Abhängigkeit des pH-Werts und der NET-Konzentration

## Ausblick

- ▶ Ausarbeitung und Bewertung unterschiedlicher textiler Konstruktionen hinsichtlich ihrer Eigenschaften als Sensor
- ▶ Untersuchung weiterer Elektroden- und Funktionsschichtmaterialien
- ▶ Automatisierte Produktion eines textilbasierten Bio-Sensors
- ▶ Aufbringung des textilbasierten Sensors auf den Wundverband erfolgt mittels Tailored Fibre Placement (TFP) oder adhäsiv
- ▶ Überprüfung zur Nutzung anderer physiologischer, wundspezifischer Eigenschaften (Temperatur, Laktat-Gehalt, ROS-Anteil)



## Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für  
Wirtschaft und Technologie für die Förderung  
des AIF/IGF-Projekts 17826 BR/1.

Gefördert durch:



 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!