



Bernd Scheufele (Autor)

**Sensorik und Aktorik mit piezoelektrischen Schwingquarzen**  
*Nachweis von blutgruppenspezifischen Antikörpern in humanem Vollblut*



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1172>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Physikalischer Hintergrund	5
2.1.1	Piezoelektrischer Effekt	5
2.1.2	Schwingquarze	11
2.1.3	Sensorik mit Schwingquarzen	14
2.1.4	Theoretische Modellierung des Schwingquarzverhaltens	20
2.2	Medizinisch-biologischer Hintergrund	31
2.2.1	Zusammensetzung und Funktionen von Blut	32
2.2.2	Blutgruppen der Erythrozyten	34
2.2.3	Antikörper	37
2.2.4	Immunhämatologische Diagnostik	45
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>49</b>
3.1	Akustische Sensorelemente	49
3.1.1	Typen akustischer Sensorelemente	50
3.1.2	Akustische Immunosensoren	53
3.2	Technologien für den Nachweis von Blutgruppenantikörpern	55
3.2.1	Klinisch etablierte Methoden	55
3.2.2	Antikörpernachweis mit optischen Immunosensoren	60
3.2.3	Antikörperdetektion mit Schwingquarzen	62

<b>4</b>	<b>Entwicklungsarbeiten</b>	<b>65</b>
4.1	Weiterentwicklung der Schwingquarzsensormplattform FidgeType	65
4.1.1	Bisheriger Aufbau des FidgeType-Geräts	66
4.1.2	Weiterentwicklung des FidgeType-Geräts	69
4.2	Entwicklung einer miniaturisierten Schwingquarzsensormplattform	76
4.2.1	Mikrofluidischer Chip für die Blutgruppenanalytik	78
4.2.2	Messzelle mit freiem Zugang zur Schwingquarzoberfläche	82
4.3	Admittanzanalyse des Schwingquarzverhaltens	84
4.3.1	Netzwerkanalysator zur Admittanzmessung	84
4.3.2	Steuerungs- und Auswertungssoftware	88
4.3.3	Passiver und aktiver Betrieb von Schwingquarzsensoren	92
4.4	Auswertungssoftware zur Bestimmung mechanischer Materialeigenschaften	96
4.5	Elektronische Anregung von Schwingquarzoszillationen mit hohen Amplituden	101
4.5.1	Generierung hochfrequenter Wechselspannungen	102
4.5.2	Maximierung der Schwingquarzamplituden	104
4.6	Biologische Funktionalisierung von Schwingquarzen	106
4.6.1	Immobilisierung von Erythrozyten	107
4.6.2	Immobilisierung von Anti-human Antikörpern	118
4.6.3	Immobilisierung von Microspheres	124
<b>5</b>	<b>Aktorik mit Schwingquarzen</b>	<b>127</b>
5.1	Aktorischer Betrieb von Schwingquarzen	127
5.1.1	Theoretische Modellierung des aktorischen Betriebs	127
5.1.2	Experimentelle Analyse des aktorischen Betriebs zur Ablösung immobilisierter Microspheres	133

---

5.2	Analyse der durch elektronische Anregung von Schwingquarz- oszillationen induzierten Effekte	136
5.2.1	Erhöhung der Temperatur	137
5.2.2	Anstieg der Resonanzfrequenz	141
5.2.3	Auftreten stehender Wellen	146
5.3	Aktorische Ablösung immobilisierter Erythrozyten	149
5.3.1	Funktionalisierung der Quarze mit Lektinen	149
5.3.2	Funktionalisierung der Quarze mit Polylysin	151
<b>6</b>	<b>Separation und Nachweis von Antikörpern mit Schwingquarzen</b>	<b>155</b>
6.1	Verwendung der miniaturisierten Schwingquarzsensormesszelle	155
6.1.1	Separation und fluoreszenzmikroskopischer Nachweis von Anti-A Antikörpern	155
6.1.2	Separation und massensensitiver Nachweis von Anti-A Antikörpern	160
6.2	Realisierung des Antikörpernachweises mit dem weiterent- wickelten Analysegerät FidgeType	162
6.2.1	Aktorische Ablösung immobilisierter Erythrozyten innerhalb einer fluidischen Messzelle	162
6.2.2	Fluidischer Transfer abgelöster Erythrozyten in eine seriell angeordnete Messzelle	165
6.2.3	Detektion der blutgruppenspezifischen Antikörper des AB0-Blutgruppensystems in Vollblut	169
6.3	Antikörpernachweis innerhalb einer fluidischen Messzelle mit übereinander positionierten Schwingquarzen	172
6.3.1	Experimenteller Aufbau	173
6.3.2	Analyse des Schwingquarzverhaltens	174
6.3.3	Nachweis von Anti-A Antikörpern	176
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>179</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>185</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>201</b>