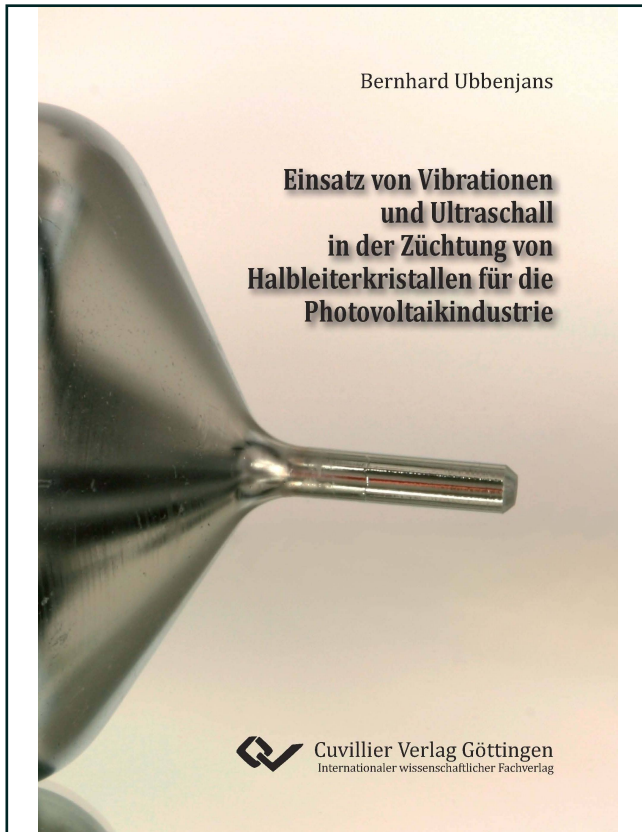




Bernhard Ubbenjans (Autor)  
**Einsatz von Vibrationen und Ultraschall in der  
Züchtung von Halbleiterkristallen für die  
Photovoltaikindustrie**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6261>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-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 der Kristallzucht und Photovoltaik</b>	<b>4</b>
2.1	Bedeutung der Solarenergie in der Energieerzeugung . . . . .	5
2.2	Aufbau einer Solarzelle . . . . .	8
2.3	Kristallzuchtverfahren . . . . .	11
2.3.1	Monokristalline Verfahren . . . . .	12
2.3.2	Polykristalline Verfahren . . . . .	13
2.4	Grundlagen zum Fremdstoffeinbau bei der Kristallzucht . . . . .	15
2.5	Beeinflussung des Kristallwachstums durch externe Felder . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Motivation</b>	<b>25</b>
3.1	Stand der Literatur . . . . .	25
3.1.1	Stand der Literatur zum Thema Vibrationen in der Kristallzucht . . . . .	26
3.1.2	Stand der Literatur zum Thema Ultraschall in der Kristallzucht . . . . .	27
3.2	Zielsetzung . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b>	<b>34</b>
4.1	Grundlagen des Ultraschalls . . . . .	34
4.2	Strömungen in der Schmelze . . . . .	37
4.2.1	Eckardströmung . . . . .	37
4.2.2	Schlichtingströmung . . . . .	40
4.3	Beschreibung des akustischen Feldes . . . . .	44
4.4	Berechnung der Ultraschalldämpfung . . . . .	47
<b>5</b>	<b>Modellexperimente mit Ultraschall</b>	<b>49</b>
5.1	Beschreibung der Ultraschallanlage . . . . .	51
5.1.1	Generator und Piezokeramik . . . . .	51
5.1.2	Auswahl eines geeigneten Schallleiters . . . . .	52
5.1.3	Aufbau der Ultraschalleinheit . . . . .	53
5.2	Tischexperimente mit Wasser als Modellflüssigkeit . . . . .	55



---

5.3	Experimente am Modellofen mit Germanium . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Numerische Untersuchung der Schmelzenbeeinflussung durch Ultraschall</b>	<b>66</b>
6.1	Vorstellung des numerischen Modells . . . . .	66
6.1.1	Berechnung des akustischen Feldes . . . . .	67
6.1.2	Berechnung der Schlichtingströmung . . . . .	68
6.1.3	Berechnung der globalen Strömung . . . . .	69
6.2	Ergebnisse der Simulation . . . . .	70
6.2.1	Ergebnisse für unterschiedliche Frequenzen . . . . .	70
6.2.2	Ergebnisse für unterschiedliche Schalleiterdurchmesser . . . . .	76
6.2.3	Ergebnisse für ringförmige Schalleiter . . . . .	81
6.2.4	Ergebnisse für die Überlagerung mit einem Wandermagnetfeld . . . . .	88
6.3	Erzeugung transienter Schallfelder . . . . .	92
6.3.1	Transientes Schallfeld durch zunehmende Kristallhöhe . . . . .	92
6.3.2	Transientes Schallfeld durch variierende Frequenz . . . . .	94
<b>7</b>	<b>Numerische Untersuchung der Schmelzenbeeinflussung durch Vibrationen</b>	<b>96</b>
7.1	Beschreibung der Ausgangssituation . . . . .	96
7.2	Vorstellung des numerischen Modells . . . . .	97
7.3	Ergebnisse der Simulation . . . . .	99
7.3.1	Stationäre Strömungssimulation ohne Vibrationen . . . . .	100
7.3.2	Transiente Strömungssimulation mit Vibrationen . . . . .	102
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>Ausblick</b>	<b>110</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>112</b>