

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Ziel der vorliegenden Arbeit</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>(Potentielle) Anwendungsgebiete ultradünnen Glases</b>	<b>3</b>
2.1	Anwendungen in der Elektronik . . . . .	3
2.1.1	Verpackung integrierter Schaltkreise (Integrated Circuit Packaging) . . . . .	3
2.1.2	Displays . . . . .	6
2.2	Biotechnologie . . . . .	8
2.2.1	Mikroskopieglas . . . . .	8
2.2.2	Mikrofluidik . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Stand der Technik und Einordnung in das Wissenschaftliche Umfeld</b>	<b>13</b>
3.1	Ultradünne Technische Gläser, deren Herstellung und Nachverarbeitung . . . . .	13
3.1.1	Materialien . . . . .	13
3.1.2	Formgebung . . . . .	15
3.1.2.1	Walzprozess . . . . .	15
3.1.2.2	Up-Draw oder Fourcault Prozess . . . . .	16
3.1.2.3	Floatprozess . . . . .	16
3.1.2.4	Down-Draw-Prozess . . . . .	17
3.1.3	Industrietypische Nachverarbeitungsschritte . . . . .	18
3.1.3.1	Zuschneiden . . . . .	18
3.1.3.2	Kantenbearbeitung . . . . .	19

3.1.3.3	Oberflächenbearbeitung . . . . .	19
3.1.3.4	Reinigen . . . . .	19
3.1.3.5	Strukturieren . . . . .	20
3.2	Festigkeit von Gläsern und gebräuchliche Testverfahren	20
3.2.1	Festigkeit von Gläsern . . . . .	20
3.2.2	Sprödbbruch und Bruchzähigkeit . . . . .	21
3.2.3	Typische Versagensarten . . . . .	23
3.2.4	Hauptrisstypen bei Kontaktversagen . . . . .	23
3.2.5	Median- und Half-Penny-Risse . . . . .	25
3.2.6	Schädigungsmechanismen von Gläsern . . . . .	26
3.2.6.1	Plötzliches, katastrophales Versagen . . . . .	26
3.2.6.2	Unterkritisches Risswachstum . . . . .	26
3.2.6.3	Materialermüdung unter zyklischer Belastung . . . . .	27
3.2.6.4	Kriechen . . . . .	27
3.2.6.5	Korrosion . . . . .	27
3.2.7	Statistische Betrachtung von Bruchereignissen . . . . .	28
3.2.7.1	Die Weibullverteilung . . . . .	28
3.2.7.2	Plötzliches Versagen . . . . .	29
3.2.7.3	Verzögertes Versagen . . . . .	32
3.2.8	Etablierte Testverfahren für Kantenfestigkeit . . . . .	33
3.2.8.1	Vier-Punkt-Biegung und Drei-Punkt-Biegung . . . . .	33
3.2.8.2	Zwei-Punkt-Biegung . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Entwicklung einer Messmethode für Kantenfestigkeit an ultradünnen Gläsern</b>	<b>37</b>
4.1	Beschreibung des Zylinderprüfverfahrens . . . . .	37
4.2	Herleitung der Spannungsberechnungen . . . . .	39

4.3	Vergleich zwischen Näherung und FEM-Simulation der Stufenwalze . . . . .	41
4.3.1	FEM Simulation . . . . .	41
4.3.2	Ergebnisse . . . . .	42
4.3.3	Interpretation . . . . .	43
4.4	Vergleich der Zylinderbiegungsmethode mit Zwei-Punkt-Biegung . . . . .	45
4.4.1	Versuchsaufbau . . . . .	45
4.4.2	Ergebnisse . . . . .	45
4.4.3	Interpretation . . . . .	46
4.4.3.1	Effektive Länge $l_{eff}$ der gemessenen Zwei-Punkt-Biegung . . . . .	46
4.4.3.2	Anpassung der Stufenwalzenverteilung an die Effektivlänge $l_{eff}$ der Zwei-Punkt-Biegung . . . . .	49
4.4.4	Fehlerbetrachtungen . . . . .	51
4.4.4.1	Fehler durch die diskrete Natur der Stufenwalze . . . . .	51
4.4.4.2	Relevanz des zeitlichen Risswachstums im Messverlauf . . . . .	57
4.4.4.3	Fehler durch Bedienerinflüsse . . . . .	60
4.4.4.4	Fehler durch das aufgebrauchte Klebeband . . . . .	61
4.5	Fazit . . . . .	63
5	<b>Weiterentwicklung eines Prozesses zum Trennen von Dünnstglas</b>	<b>65</b>
5.1	Versuchsaufbau und -bedingungen . . . . .	65
5.1.1	Prozessbeschreibung . . . . .	65
5.1.2	Aufbau der Schneidanlagen . . . . .	67

---

5.2	Referenzprozess . . . . .	68
5.2.1	Phänomenologie . . . . .	68
5.2.2	Status quo . . . . .	70
5.3	Parameterscreening . . . . .	72
5.3.1	Hypothesen . . . . .	72
5.3.2	Methode . . . . .	73
5.3.3	Ergebnisse . . . . .	75
5.3.3.1	Effektstärke . . . . .	75
5.3.3.2	Modellanpassung . . . . .	76
5.3.4	Interpretation . . . . .	76
5.3.4.1	Effektstärke . . . . .	76
5.3.4.2	Modellanpassung . . . . .	77
5.4	Ergebnisgeleitete Prozessentwicklung . . . . .	79
5.4.1	Online-Kraftmessung . . . . .	79
5.4.1.1	Versuchsaufbau . . . . .	79
5.4.1.2	Ergebnisse . . . . .	80
5.4.1.3	Interpretation . . . . .	81
5.4.2	Neuer Schneidkopf . . . . .	84
5.4.3	Tischmessung . . . . .	84
5.4.3.1	Aufbau . . . . .	84
5.4.3.2	Ergebnisse . . . . .	85
5.4.3.3	Interpretation . . . . .	85
5.4.4	Optimierungsversuche . . . . .	87
5.4.4.1	Versuchsaufbau . . . . .	87
5.4.4.2	Ergebnisse . . . . .	87
5.4.4.3	Interpretation . . . . .	88
5.5	Langzeitvalidierung . . . . .	89
5.5.1	Versuchsaufbau . . . . .	89
5.5.2	Ergebnisse . . . . .	90

---

5.5.3	Interpretation . . . . .	91
5.5.3.1	Langzeitvalidität des Prozesses . . . .	91
5.5.3.2	2- vs. 3-Parameter-Weibullverteilung .	91
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>95</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>99</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>113</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis und Formelzeichen</b>	<b>119</b>