

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Liste der Formelzeichen | xv |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Problemstellung und Zielsetzung..... | 1 |
| 1.2 Aufbau der Arbeit | 4 |
| 1.3 Begriffsbestimmung..... | 6 |
| 2 Grundlagen | 9 |
| 2.1 Ermüdungsfestigkeit | 9 |
| 2.1.1 Definitionen und Begriffe | 9 |
| 2.1.2 Wöhler-Versuch | 11 |
| 2.2 Linear elastische Bruchmechanik | 12 |
| 2.2.1 Allgemeines | 12 |
| 2.2.2 Rissöffnungsmodi | 12 |
| 2.2.3 K-Konzept..... | 13 |
| 2.2.4 Geometriefaktoren | 13 |
| 2.3 Glas im Bauwesen | 17 |
| 2.3.1 Definition und Struktur von Glas | 17 |
| 2.3.2 Physikalische Eigenschaften von Kalk-Natron-Silikatglas | 19 |
| 2.3.3 Herstellung von Floatglas | 20 |
| 2.3.4 Veredelung durch thermisches Vorspannen..... | 21 |
| 2.3.5 Übersicht der wichtigsten Glasarten | 21 |
| 2.4 Festigkeit und Ermüdung von Glas..... | 23 |
| 2.4.1 Allgemeines | 23 |
| 2.4.2 Bruchzähigkeit | 23 |
| 2.4.3 Flächeneinfluss..... | 24 |
| 2.4.4 Gebrauchtes Glas | 26 |
| 2.4.5 Statische Ermüdung | 27 |
| 2.4.6 Dynamische Ermüdung..... | 29 |
| 2.4.7 Zyklische Ermüdung | 33 |
| 2.4.8 Lebensdauerprognose mit dem Potenzgesetz..... | 37 |
| 2.4.9 Rissheilungseffekte | 48 |
| 2.5 Fraktographie von Glas..... | 50 |
| 2.5.1 Allgemeines | 50 |
| 2.5.2 Bruchvorgang..... | 50 |
| 2.5.3 Bruchspiegel..... | 51 |
| 2.5.4 Wallner-Linien | 52 |
| 2.5.5 Bruchbild..... | 53 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.5.6 | Verzweigungslänge und Verzweigungswinkel | 54 |
| 2.6 | Statistische Methoden | 56 |
| 2.6.1 | Allgemeines | 56 |
| 2.6.2 | Schätzverfahren | 56 |
| 2.6.3 | Konfidenzintervalle | 58 |
| 2.6.4 | Verteilungsfunktionen | 61 |
| 3 | Experimentelle Untersuchungen zur definierten Vorschädigung | 65 |
| 3.1 | Versuchskonzept | 65 |
| 3.2 | Reproduzierbarkeit | 69 |
| 3.3 | Kratzlänge | 72 |
| 3.4 | Lagerungsdauer | 72 |
| 3.5 | Eindringkraft | 72 |
| 3.6 | Zusammenfassung | 74 |
| 4 | Mechanische Eigenschaften der Probekörper | 75 |
| 4.1 | Allgemeines | 75 |
| 4.2 | Beschreibung der Probekörper | 75 |
| 4.3 | Abmessungen | 76 |
| 4.4 | Thermische Eigenspannungen | 77 |
| 4.5 | Elastizitätsmodul | 85 |
| 4.6 | Rissfortschrittsexponent n | 89 |
| 4.7 | Risswachstumsparameter v_0 | 91 |
| 4.8 | Zusammenfassung | 95 |
| 5 | Zyklische Ermüdung I | 97 |
| 5.1 | Versuchskonzept | 97 |
| 5.2 | Probekörper | 102 |
| 5.3 | Versuchsaufbau | 102 |
| 5.4 | Finite-Elemente-Simulation | 104 |
| 5.5 | Durchführung | 108 |
| 5.5.1 | Allgemeines | 108 |
| 5.5.2 | Zinnbad- und Luftseite | 109 |
| 5.5.3 | Abkleben der Probekörper | 109 |
| 5.5.4 | Schädigung | 109 |
| 5.5.5 | Lagerung | 111 |
| 5.5.6 | Biegezugfestigkeitsprüfung | 111 |
| 5.5.7 | Dauerschwingversuche | 112 |
| 5.6 | Vergleichsprobekörper | 113 |
| 5.7 | Basisversuche | 114 |
| 5.8 | Einflussparameter | 120 |
| 5.8.1 | Frequenz | 120 |
| 5.8.2 | Belastungstyp | 123 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.8.3 | Belastungsfunktion..... | 125 |
| 5.8.4 | Umgebungsbedingungen..... | 128 |
| 5.8.5 | Schädigung und Lagerung..... | 132 |
| 5.9 | Änderung mechanischer Eigenschaften | 134 |
| 5.10 | Zusammenfassung | 136 |
| 6 | Zyklische Ermüdung II | 139 |
| 6.1 | Versuchskonzept..... | 139 |
| 6.2 | Probekörper..... | 140 |
| 6.3 | Versuchsaufbau..... | 140 |
| 6.4 | Durchführung..... | 142 |
| 6.4.1 | Allgemeines | 142 |
| 6.4.2 | Dauerschwingversuche | 142 |
| 6.5 | Vergleichsprobekörper..... | 143 |
| 6.6 | Basisversuche..... | 144 |
| 6.7 | Einflussparameter | 145 |
| 6.7.1 | Frequenz..... | 145 |
| 6.7.2 | Belastungstyp | 146 |
| 6.8 | Zusammenfassung | 147 |
| 7 | Modelle zur Lebensdauerprognose | 149 |
| 7.1 | Allgemeines | 149 |
| 7.2 | Analytisches Modell | 149 |
| 7.2.1 | Beschreibung des analytischen Modells..... | 149 |
| 7.2.2 | Experimentelle Ergebnisse im Vergleich mit Prognosen anhand von Werten aus der Literatur..... | 150 |
| 7.2.3 | Anpassung der Versuchsergebnisse mittels Regressionsanalyse | 151 |
| 7.3 | Numerisches Modell | 157 |
| 7.3.1 | Beschreibung des numerischen Modells | 157 |
| 7.3.2 | Risswachstumssimulation | 162 |
| 7.3.3 | Anpassung der Versuchsergebnisse mittels der Regressionsanalyse .. | 164 |
| 7.4 | Zusammenfassung | 167 |
| 8 | Dauerschwingfestigkeit | 169 |
| 8.1 | Allgemeines | 169 |
| 8.2 | Auswertung der zyklischen Versuche..... | 170 |
| 8.3 | Treppenstufen-Versuche | 173 |
| 8.3.1 | Allgemeines | 173 |
| 8.3.2 | Durchführung..... | 174 |
| 8.3.3 | Ergebnisse und Auswertung..... | 175 |
| 8.4 | Zusammenfassung | 178 |

| | |
|--|------------|
| 9 Rissheilungseffekte bei periodischer Beanspruchung | 179 |
| 9.1 Allgemeines | 179 |
| 9.2 Versuche mit Belastungspausen I – Durchläufer und Schwingenspielzahl | 180 |
| 9.2.1 Versuchskonzept | 180 |
| 9.2.2 Durchführung | 181 |
| 9.2.3 Ergebnisse und Auswertung | 182 |
| 9.3 Versuche mit Belastungspausen II – Biegezugfestigkeit | 183 |
| 9.3.1 Versuchskonzept | 183 |
| 9.3.2 Durchführung | 183 |
| 9.3.3 Ergebnisse und Auswertung | 184 |
| 9.4 Zusammenfassung | 185 |
| 10 Bemessungskonzept | 187 |
| 11 Zusammenfassung und Ausblick | 191 |
| 11.1 Forschungsstand | 191 |
| 11.2 Anwendungsperspektiven | 193 |
| 11.3 Ausblick | 194 |
| Literaturverzeichnis | 197 |
| Abbildungsverzeichnis | 207 |
| Tabellenverzeichnis | 215 |
| Anhang | 221 |