

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Einheiten	vii
Abkürzungen	ix
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Perkolations leitfähiger Füllstoffnetzwerke	3
2.1.1 Perkolationsmodelle	4
2.1.2 Kolloidtheoretischer Ansatz	6
2.1.2.1 Duromer/Füllstoff als kolloidale Dispersion	6
2.1.2.2 Kräfte zwischen dispersen Partikeln	7
2.1.3 Aggregation und Koagulation	9
2.2 Elektrisch induzierte Füllstoffnetzwerke	12
2.2.1 Elektrophorese, Dielektrophorese und Teilchendrehung	12
2.2.2 Kettenbildung im elektrischen Feld: Elektrorheologische Flüssigkeiten	18
2.2.3 Spezielle Modellansätze zur Beschreibung elektrisch induzierter Partikelketten	22
2.2.3.1 Anordnungsprozess in heterogenen Systemen: Stimulierte Perkolation	22
2.2.3.2 Dynamik elektrisch induzierter Füllstoffnetzwerke	26
3 Materialien und Methoden	31
3.1 Duroplaste	33
3.1.1 Epoxyharz Araldit LY556	33
3.1.2 Härter Araldit HY932	34
3.1.3 Härter XB3473	35
3.1.4 Härter HY917	35
3.1.5 Vinylesterharz	36
3.1.6 Säure-Base-Charakter, Viskosität und ionische Leitfähigkeit	36
3.2 Füllstoffe	39
3.2.1 Hochleitfähigkeitsruß	39
3.2.2 Nanofasern	40
3.2.3 Nanotubes	43
3.3 Dispergierung	45

Inhaltsverzeichnis

3.3.1	Methoden zur Dispergierung der Füllstoffe	46
3.3.2	Chemische Wechselwirkung Füllstoff-Polymer	47
3.4	Charakterisierungsmethoden	48
3.4.1	Herstellung und in situ Beobachtung leitfähiger Partikel- netzwerke	49
3.4.2	Impedanzspektroskopie	51
4	Perkolation in Duroplasten	53
4.1	Hochleitfähigkeitsruß	54
4.1.1	Perkolation in aminischen Systemen	54
4.1.2	Perkolation im Anhydridsystem	57
4.1.3	Perkolation im Vinylesterharzsystem	59
4.1.4	Zusammenfassung: Rußgefüllte Duroplaste	59
4.2	Kohlenstoff Nanofasern	61
4.2.1	Kohlenstoff Nanofaser Dispersionen	64
4.2.2	Fazit: Perkulationsverhalten von Kohlenstoff Nanofasern .	67
4.3	Kohlenstoff Nanoröhrchen	68
4.3.1	CVD Multi-Wall-Nanotubes als Füllstoff	68
4.3.1.1	Homogene Dispersion	70
4.3.1.2	Clusterbildung	71
4.3.1.3	Makroskopisch leitfähiges Netzwerk	73
4.3.1.4	Perkolation in Abhängigkeit vom Aspektverhältnis	75
4.3.1.5	Perkolation im Anhydridsystem	77
4.3.1.6	Vergleich Theorie - Experiment	78
4.3.1.7	Zusammenfassung CVD-Nanotubes	80
4.3.2	Stickstoffdotierte Nanotubes	81
4.3.2.1	Dispersionsverhalten der stickstoffdotierten Tubes	81
4.3.2.2	Perkolation im AminsystemHY und im Anhydrid- system	83
4.3.2.3	Einfluss der Härtungstemperatur auf den Perko- lationsprozess	84
4.3.2.4	Perkolation induziert durch Scherung	85
4.4	Die Füllstoffe im Vergleich	90
5	Elektrisch induzierte Füllstoffnetzwerke	93
5.1	Hochleitfähigkeitsruß	93
5.1.1	Netzwerke in aminischen Systemen	94
5.1.1.1	Bestimmung des Zetapotentials	94
5.1.1.2	Charakterisierung der Netzwerkstrukturen	97
5.1.1.3	Perkulationsdynamik elektrisch induzierter Ruß Netzwerke	102
5.1.1.4	Temperaturverhalten leitfähiger Rußnetzwerke . .	103
5.1.2	Netzwerke im Anhydridsystem	106

5.1.3	Netzwerke im Vinylesterharzsystem	107
5.1.4	Fazit: Elektrisch induzierte Rußnetzwerke	107
5.2	Kohlenstoff Nanofasern	108
5.2.1	Aminsyste me	108
5.2.1.1	Netzwerkbildung im Gleichfeld	109
5.2.1.2	Netzwerkbildung im Wechselfeld	116
5.2.1.3	Analyse der Dynamik und Leitfähigkeiten der induzierten Nanofaser Netzwerke	120
5.2.1.4	Vergleich AC-DC	123
5.2.2	Anhydridsystem	123
5.2.2.1	In situ Analyse der Netzwerkbildung	123
5.2.2.2	Dynamik und Leitfähigkeiten der Netzwerke	126
5.2.3	Fazit: Elektrisch induzierte Kohlenstoff Nanofaser Netzwerke	131
5.3	Kohlenstoff Nanoröhrchen	133
5.3.1	CVD MWNT	134
5.3.1.1	Mechanismen der Netzwerkbildung	134
5.3.1.2	Perkolationsdynamik	136
5.3.1.3	Einfluss der Feldstärke und des Füllstoffgehaltes auf die Leitfähigkeit der Verbundwerkstoffe	138
5.3.2	Stickstoff dotierte Nanoröhrchen	140
5.3.2.1	Langzeitverhalten der Leitfähigkeit bei Variation der Temperatur	143
5.3.3	Fazit: Elektrisch induzierte Kohlenstoff Nanotube Netzwerke	145
5.4	Die elektrisch induzierten Füllstoffnetzwerke im direkten Vergleich	146
6	Mögliche Anwendungsgebiete elektrisch leitfähiger Duroplaste	147
6.1	Anwendungsgebiete elektrisch leitfähiger Verbundwerkstoffe	147
6.2	Kontaktlos elektrisch induzierte Perkolation	148
6.3	Epoxyharzsystem mit hochohmigen elektrischen Eigenschaften	149
6.4	Transparente leitfähige Verbundwerkstoffe	150
7	Zusammenfassung und Ausblick	153
7.1	Zusammenfassung	153
7.2	Ausblick	154
A	Labview	157
	Index	177