



Inhaltsverzeichnis

I	Einführung	1
1	Organische Solarzellen	3
1.1	Die Alternativen zu monokristallinem Silizium	4
1.2	Die Bulk Heterojunction	5
1.2.1	Physikalische Vorgänge zur Generierung eines Photostroms	7
1.2.2	Kennzahlen von Solarzellen	8
1.3	Vom Stoff zum Material	9
1.4	Vom Material zur Morphologie	12
2	Visualisierung für eine Korrelation zwischen Morphologie und Effizienz	15
2.1	Allgemeine Techniken zur Charakterisierung von Solarzellen	15
2.2	Rasterkraftmikroskopie	16
2.3	Röntgenstrahlen	17
2.3.1	Röntgenbeugung	17
2.3.2	Röntgenmikroskopie	18
2.4	Elektronenmikroskopie	19
2.4.1	Rasterelektronenmikroskopie	20
2.4.2	Raster-Transmissions-Elektronenmikroskopie	20
2.4.3	Transmissions-Elektronenmikroskopie	21
2.4.4	Elektronentomographie	22
2.4.5	Kontrasttransfer im TEM	23
3	Analytische Elektronenmikroskopie	29
3.1	Energieverlustspektroskopie mit hoher Energieauflösung	32
3.2	Energieverlustbilder mit hoher Ortsauflösung	34
3.3	Vorteile durch funktionalen Bildkontrast	35



3.4	Datenprozessierung: Registrierung, Merkmalsselektion und Klassifizierung .	36
3.5	Anwendungen auf das Modellsystem in der Literatur	37

II Das organische Mischsystem im analytischen Elektronen- mikroskop **39**

4	Spektroskopische Analyse von Niedrigverlustmerkmalen	41
4.1	Ziele und Materialien	41
4.2	Methoden	42
4.2.1	Probenfertigung	42
4.2.2	Spektroskopie und Auswertung	43
4.3	Ergebnisse	45
4.3.1	Spektrale Unterschiede und Vermessung der Bandlücke	45
4.3.2	Plasmonenanregungen	49
4.3.3	Strahlenschädigung	51
4.4	Diskussion	56
5	Bildstapel mit Niedrigverlustmerkmalen	61
5.1	Ziele und Materialien	61
5.2	Methoden	63
5.2.1	Probenfertigung	63
5.2.2	ESI-Spektroskopie	63
5.2.3	Datenprozessierung	64
5.2.4	Datenklassifizierung	66
5.2.5	Simulation für LLE-Algorithmus	67
5.2.6	Berechnung der spektralen Leistungsdichte von Energieverlustbildern	68
5.3	Ergebnisse	69
5.3.1	Materialkontrast durch spektrale Klassifikation	69
5.3.2	Visualisierung einer homogenen Mischphase	74
5.3.3	Korrelation mit Solarzellkennzahlen	81
5.4	Diskussion	88
6	Vergleich zwischen Phasenkontrast und Materialkontrast	95
6.1	Ziele und Materialien	95
6.2	Methoden	96
6.2.1	Probenfertigung	96



6.2.2	Defokusbilder und Defokusserie	96
6.2.3	Defokusbestimmung und CTF-Korrektur	97
6.2.4	ESI-Spektroskopie	98
6.3	Ergebnisse	98
6.4	Diskussion	105
7	Tomographie mit Niedrigverlustmerkmalen	109
7.1	Ziele und Materialien	109
7.2	Methoden	111
7.2.1	Probenfertigung	111
7.2.2	ESI-Spektroskopie in 2D	111
7.2.3	ESI-Spektroskopie in 3D mit Tomographie	112
7.2.4	Rekonstruktion und Auswertung der Tomogramme	112
7.2.5	Auswertung der 2D-ESI-Serien	113
7.2.6	Visualisierung der 3D-Struktur	113
7.3	Ergebnisse	113
7.4	Diskussion	119
III	Einordnung und Ausblicke	123
8	Zusammenfassung der Ergebnisse	125
8.1	Untersuchungen mit der analytischen Elektronenmikroskopie	125
8.2	Verbindung von funktionaler Bildgebung und Mustererkennung	132
8.3	Unterschiede zu Ergebnissen in der Literatur	134
9	Notwendige Weiterentwicklungen hin zur organischen Solarzelle	139
9.1	Standardisierung für einen konzertierten Einsatz von Methoden	139
9.2	Vereinigung von Synthese, Charakterisierung und Modellierung	141
	Literaturverzeichnis	143