

BMBF-Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“

Schlussbericht

(wird auf Anfrage Dritten zur Verfügung gestellt)

Zuwendungsempfänger: Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.	Förderkennzeichen: 02PU2392
Titel des Vorhabens: Verbundprojekt: Entwicklung polymerer Nanokomposite mit gleichzeitig verbesserten mechanischen und elektrischen Eigenschaften (COMPOMEL); Teilprojekt: Stofflich-verfahrenstechnische Zusammenhänge beim Schmelzemischen	
Projektleiter: Dr. Petra Pötschke	Tel.: 0351-4658-395
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.05.2007 bis: 31.7.2010	

Verfassen Sie bitte einen kurzen **Schlussbericht** zu Ihrem Vorhaben unter Verwendung nachfolgender Gliederung und fügen diesen als **Anlage** bei:

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde (z.B. Ressourcen, Einbindung in die Unternehmensstrategie, Vorarbeiten und Vorkenntnisse, etc.)
3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens
4. Planung und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)
5. Erzieltes Ergebnis (ggf. durch Bilder, Diagramme oder Grafiken ergänzen)
6. Nutzen für das Unternehmen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses
7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes (Schulung, Beratung, Erfahrungsaustausch u. a.)
8. Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen
9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.

Siehe Anlage

Dresden, 31.01.2011

Ort und Datum


Prof. Dr. B. Volk
Wissenschaftliche Direktorin


A. v. Dungern
Kaufmännischer Direktor

Vorstand

Rechtsverbindliche Unterschrift

Leibniz-Institut für Polymerforschung
Dresden e.V.
Hohe Straße 6
01069 Dresden

Stempel

1. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Gesamtprojektes lag im IPF der Schwerpunkt auf der Analyse stofflicher Zusammenhänge und genereller Tendenzen der Eigenschaftsentwicklung in Abhängigkeit von Schmelzemischbedingungen im Kleinstmengenmaßstab, der Analyse der Zusammenhänge zwischen Verfahrensbedingungen im Extrusionsprozess und erreichbarem Nanokomposit-Eigenschaftsniveau sowie der elektrischen und morphologischen Charakterisierung der Nanokomposite und von Polymerblends mit Nanokompositphasen. Das Teilziel bestand im ganzheitlichen Verstehen der Vorgänge der Carbon Nanotube (CNT)-Netzwerkbildung vom CNT-Material über seine Benetzung, Verteilung, Netzwerkaufbau im Komposit, CNT-Aggregation und Ausrichtung unter Einfluss von Prozessbedingungen und polymeren Additiven. Des Weiteren sollen die Veränderungen des Netzwerkes während der Verarbeitung, insbesondere beim Spritzguss und während der Kristallisation verstanden werden, was in Kooperation mit den anderen Teilvorhaben insbesondere durch Kombination verschiedener Methoden, speziell on-line Charakterisierung erreicht werden soll. Einen weiteren Punkt bildete das Verständnis der Lokalisierung von Nanotubes in den Phasen mehrphasiger Polymerblends und deren Beeinflussbarkeit.

2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde (z.B. Ressourcen, Einbindung in die Unternehmensstrategie, Vorarbeiten und Vorkenntnisse, etc.)

Am IPF bestand innerhalb der Abteilung Polymerreaktionen und Blends im Teilinstitut Makromolekulare Chemie seit 2001 die Arbeitsgruppe „Komposite und Blends mit Kohlenstoffnanostrukturen“ unter Leitung von Frau Dr. Pötschke. Auf dem Gebiet der Entwicklung von thermoplastischen Kompositen mit Nanotubes über Schmelzverarbeitung existierten bereits Erfahrungen und ca. 25 Publikationen aus interner und externer Kooperation. Ein Labor mit gängigen Verfahren für Herstellung und elektrische und morphologischer Charakterisierung der Komposite war aufgebaut. Innerhalb anderer Projekte gab es bereits eingearbeitete Mitarbeiter und eine Laborantin. Zuvor waren ein AIF-Projekt und ein anderes BMBF-Projekt (Nano im Auto) bearbeitet worden.

3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Obgleich Forschungen zu CNT-Kompositen seit dem Artikel von Iijima in Nature (2001) einen rasanten Aufschwung genommen hatten, war der Aspekt der Schmelzverarbeitung, insbesondere in Extrudern, weitgehend nicht untersucht. Prinzipielle Erkenntnisse waren weitgehend an Kompositen gewonnen worden, die über Lösungen oder in-situ Polymerisation hergestellt worden waren. Systematische Untersuchungen zu Dispergiermechanismen lagen von amerikanischen Arbeitsgruppen zwar zu Leitrußen, nicht jedoch zu Nanotubes vor. Die gleichzeitige Betrachtung von elektrischen und mechanischen Eigenschaftsänderungen war kaum betrachtet worden, meist wurde der Fokus nur auf eine Anwendung gelegt. Änderungen der Nanotube-Netzwerkmorphologien bei Formgebungsverfahren wie Spritzguss waren nicht bekannt. Zu Polymerblends mit Nanotubes gab es fast gar keine Literatur und Erfahrungen. Industrielle Nanotubes waren noch extrem teuer und kaum in größeren Mengen (kg-Maßstab) verfügbar. Anwender-Industriebetriebe zeigten sich interessiert an Forschungsergebnissen aus Universitäten und Forschungseinrichtungen, hatten jedoch kaum mit eigenen Aktivitäten begonnen.

4. Planung und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

Probleme bei der Durchführung ergaben sich mit dem Ausstieg von Motorola aus dem Projekt, zumal das Demonstratorbauteil für Motorola entwickelt werden sollte. Es wurde ver-

sucht, andere Industrieparten zu finden, die die Motorola-Rolle übernehmen sollten. Dieses Bemühen war nicht erfolgreich. Letztlich wurde ein projektbegleitender Ausschuss gegründet, mit dem Projektergebnisse und weitere Entwicklungen diskutiert wurden. Des Weiteren wurde ein Alternativplan entworfen, durch den Arbeitspakete auf andere Partner umgelagert sowie die Fokussierung modifiziert werden sollte. Für die Aufgaben des IPF wurde dadurch mehr Kapazität zur Bearbeitung des Verständnisses von Dispergierprozessen und des Lokalisierungsverhaltens in Blends ermöglicht. Des Weiteren wurden umfangreiche Bewitterungsversuche durchgeführt und ausgewertet. Probleme bzw. Wartezeiten ergaben sich des Weiteren daraus, dass größere Mengen an Baytubes C150 HP nicht immer bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden konnten. Ein weiteres Problem stellten Personalwechsel bzw. Kompetenzunklarheiten in einigen der beteiligten Unternehmen dar, die zu Verzögerungen bspw. bei der Abgabe des Alternativplanes nach sich zogen.

5. Erzieltes Ergebnis (ggf. durch Bilder, Diagramme oder Grafiken ergänzen)

CNT-Dispersion in polymeren Matrices

Die Eigenschaften von Kompositen mit CNTs sind in starkem Maße von der Güte der CNT-Dispersion und Distribution in der polymeren Matrix abhängig. Im Rahmen von COMPOMEL sollten die Mechanismen aufgeklärt werden, welche die CNT Dispersion von MWNT des Typs Baytubes® C150HP in polymeren Matrices während der Schmelzverarbeitung bestimmen. Dazu wurden umfangreiche systematische Untersuchungen an Kleinstmengenmischaggregaten durchgeführt.

Neben materialspezifischen Kenngrößen wurde dabei die Dispersion in Abhängigkeit von den Verfahrensparametern des Schmelzemischens wie Schneckendrehzahl, Mischzeit und Schmelztemperatur unter Anwendung statistischer Versuchspläne sowie statistisch abgesicherter Dispersionsanalyseverfahren untersucht (Kleinstmengenmischversuche **Abbildung 1**, **Abbildung 2**). In diesem Zusammenhang konnte auch der Einfluss der Probenpräparation durch Heißpressen auf die elektrische Leitfähigkeit mit statistischen Methoden umfassend aufgeklärt werden.

Neben dem Einfluss der Verarbeitungsparameter wurde die Korrelation materialspezifischer Größen wie Molekulargewicht und Schmelzviskosität und Dispersionsergebnis umfassend untersucht. In ihrer Gesamtheit führten die Untersuchungen zur Erlangung eines umfassenden Verständnisses der für die Dispergierung von CNTs in polymeren Schmelzen spezifischen Einflussgrößen. Unter anderem konnten durch Analyse und Modellbildung basierend auf der Auswertung der Agglomeratgrößenverteilungen für die Dispergierung wesentliche Mechanismen beschrieben werden. Dies führte zur Relativierung der zu Beginn des Forschungsvorhabens verbreiteten Vorstellung einer für den Dispergierungserfolg ausschlaggebenden Schubspannungsübertragung durch die polymere Matrix. Es konnte gezeigt werden,

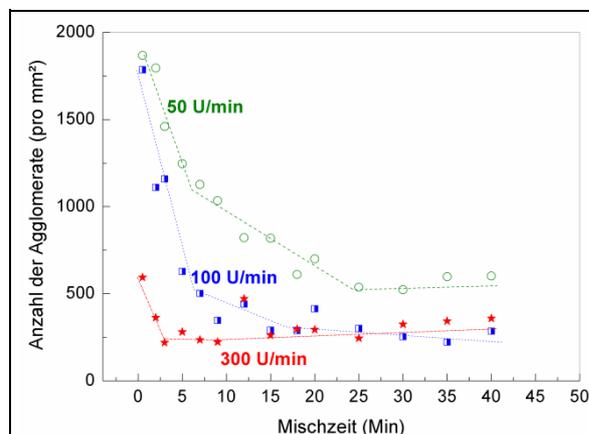


Abbildung 1 Agglomeratzahl pro Quadratmillimeter in Abhängigkeit von der Mischzeit für verschiedene Schneckendrehzahlen

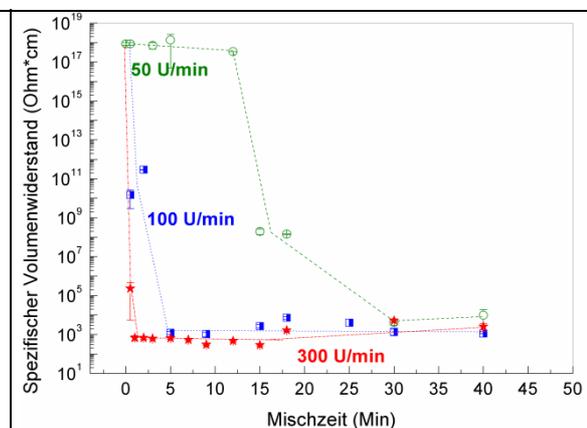


Abbildung 2 Spezifischer Volumenwiderstand in Abhängigkeit von der Mischzeit bei verschiedenen Schneckendrehzahlen

dass für hochporöse Füllstoffe wie CNT-Agglomerate darüber hinaus auch die Schmelzeinfiltration der Hohlräume von großer Bedeutung ist. Die Infiltration führt zu einer signifikanten Reduzierung der effektiven Agglomeratfestigkeit und damit zu einer deutlich erleichterten Dispergierung. Damit konnte gezeigt werden, dass die Dispergierung von CNTs von zwei Effekte dominiert wird, die zu gegensätzliche Anforderungen an die polymere Matrix führen: Während langkettige unbewegliche Polymere oder niedrige Verarbeitungstemperaturen die Übertragung hoher Schubspannungen gewährleisten, führen kurzkettige niedrigviskose Polymere oder hohe Verarbeitungstemperaturen zu wesentlich besserer Infiltration der Agglomerate (**Abbildung 3, Abbildung 4** für PC + 1 Gew. % Baytubes® C150 HP).

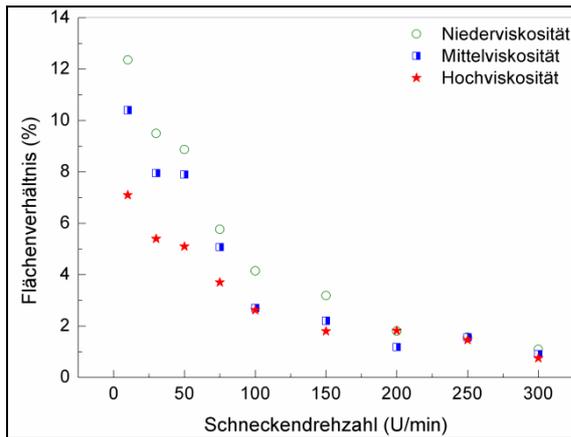


Abbildung 3 Agglomeratflächenverhältnis über Schneckendrehzahl für PC-Typen mit verschiedenen Schmelzeviskositäten

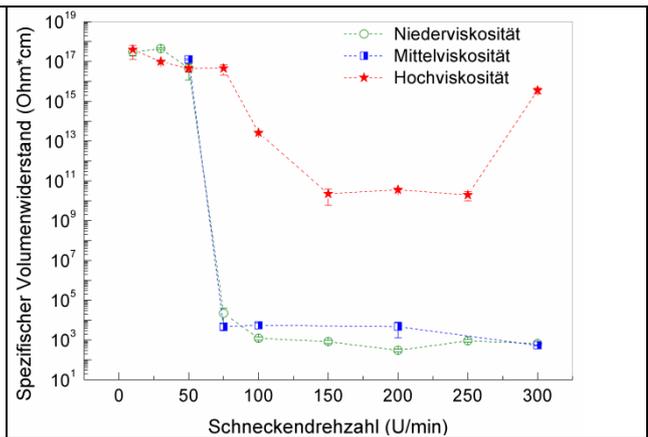


Abbildung 4 Spezifischer Volumenwiderstand in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl

Detaillierte Untersuchungen demonstrierten, dass eine Zerkleinerung der zunächst sehr kompakten MWNT-Primäragglomerate durch zwei wesentliche Vorgänge erfolgt: so können einzelne CNTs durch Erosionsprozesse in den Strömungs- und Scherfeldern des Mischvorgangs von der Agglomeratoberfläche entfernt werden (**Abbildung 5a,b**). Bei Einleitung genügend hoher Schubspannungen kann es parallel zu Zerteilungs-/Aufbruchprozessen kommen. (**Abbildung 5a**).

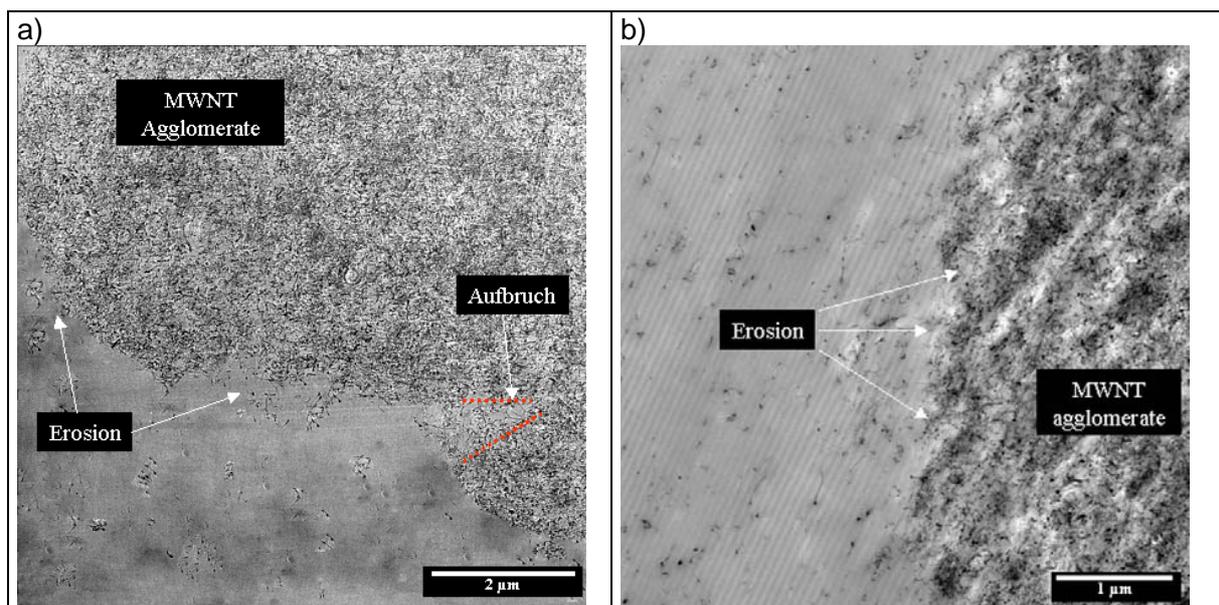


Abbildung 5 Aufbruch-(a) bzw. Erosionsmechanismus (b) von Primäragglomeraten. Die gestrichelten Linien in (a) markieren die Region des Rissfortschritts

Polymerblends mit CNTs

Durch Kombination leitfähiger Nanofüllstoffe wie CNTs mit den Phasenstrukturen und Materialdesignmöglichkeiten von mehrphasigen Polymerblends können vielfältige neue morphologische Strukturen mit neuartigen Eigenschaften erzeugt werden. Die Gestaltungsmöglichkeiten übertreffen bei weitem jene an Homopolymerkompositen und erlauben die Entwicklung von potentiell äußerst viel versprechenden thermoplastischen Funktionsmaterialien. Die Herstellung thermoplastischer Kunststoffkomposite als auch Blends erfolgt derzeit weltweit überwiegend durch die sehr kostengünstige Schmelzverarbeitung auf Extrudern. Dieses Vorgehen ermöglicht im Vergleich zur Entwicklung von Syntheseverfahren für neue Polymere eine äußerst schnelle Herstellung neuartiger thermoplastischer Werkstoffe.

Während die Entwicklung von Blendmorphologien während des Schmelzemischens in Extrudern seit vielen Jahren intensiv untersucht wurde, sind die für die Lokalisierung von Nanofüllstoffen während des Schmelzemischens verantwortlichen Mechanismen bis heute nicht vollständig verstanden. Insbesondere gab es zum Beginn des Projekts sehr wenige Untersuchungen zum Lokalisierungsverhalten von Carbon Nanotubes in mehrphasigen Polymermischungen. Triebkräfte, Kinetik und Zeitskalen evtl. stattfindender Transferprozesse waren weitgehend unbekannt. Insbesondere die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit von Kompositen auf Blendbasis erforderte aber zunächst die Aufklärung der Strukturbildungsprozesse während des Schmelzemischens.

Dazu wurden in Ihrer Komplexität gegenüber kommerziellen Systemen reduzierte Polymerblends eingesetzt. Die als Modellsystem eingesetzten Blends bestanden aus den kommerziellen Kunststoffen Polycarbonat und Styrolacrylnitril (PC/SAN), die durch Anpassung der thermodynamischen Parameter sehr gute Vergleichbarkeit mit den im Fokus der Entwicklung stehenden und deutlich komplexeren kommerziellen PC/ABS Blends gewährleisten konnten.

Mischungen aus PC und ABS gehören zu den weltweit wichtigsten Blendsystemen und weisen exzellente mechanische Eigenschaften sowie ausgezeichnete Oberflächenqualitäten auf. Ihre Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig und reichen von Gehäusen für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik bis zu hochwertigen Teilen im Automobilbereich. Zunächst konnte gezeigt werden, dass beim Mischen der PC/SAN Modellblends in Microcompoundern nach dem Ende des Mischvorgangs stets eine vollständig selektive Lokalisierung der MWNTs (Baytubes C150HP) in der PC Phase der Blends erfolgte. Dies wurde auch dann beobachtet, wenn die CNTs durch Vorcompoundierung zunächst in die SAN-Phase der Blends eingebracht wurde.

Diese Beobachtung wurde mit einer Vielzahl experimenteller Methoden verifiziert und für verschiedene Blendzusammensetzungen bestätigt. Somit konnte ein vollständiger Transfer der CNTs von PC nach SAN nachgewiesen werden. Dies ermöglichte im Kleinstmengenmischversuch die Realisierung von sogenannten „doppelperkolierten“ Blendstrukturen, die exemplarisch in **Abbildung 6** dargestellt sind. Mit diesem Konzept konnte im Vergleich zu SAN-CNT oder PC-CNT Kompositen gleichem CNT Gehalt eine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit um viele Zehnerpotenzen realisiert werden (**Abbildung 7a**). Dieses Konzept konnte anschließend erfolgreich auf einen kontinuierlichen Extrusionsprozess übertragen werden (**Abbildung 7b**).

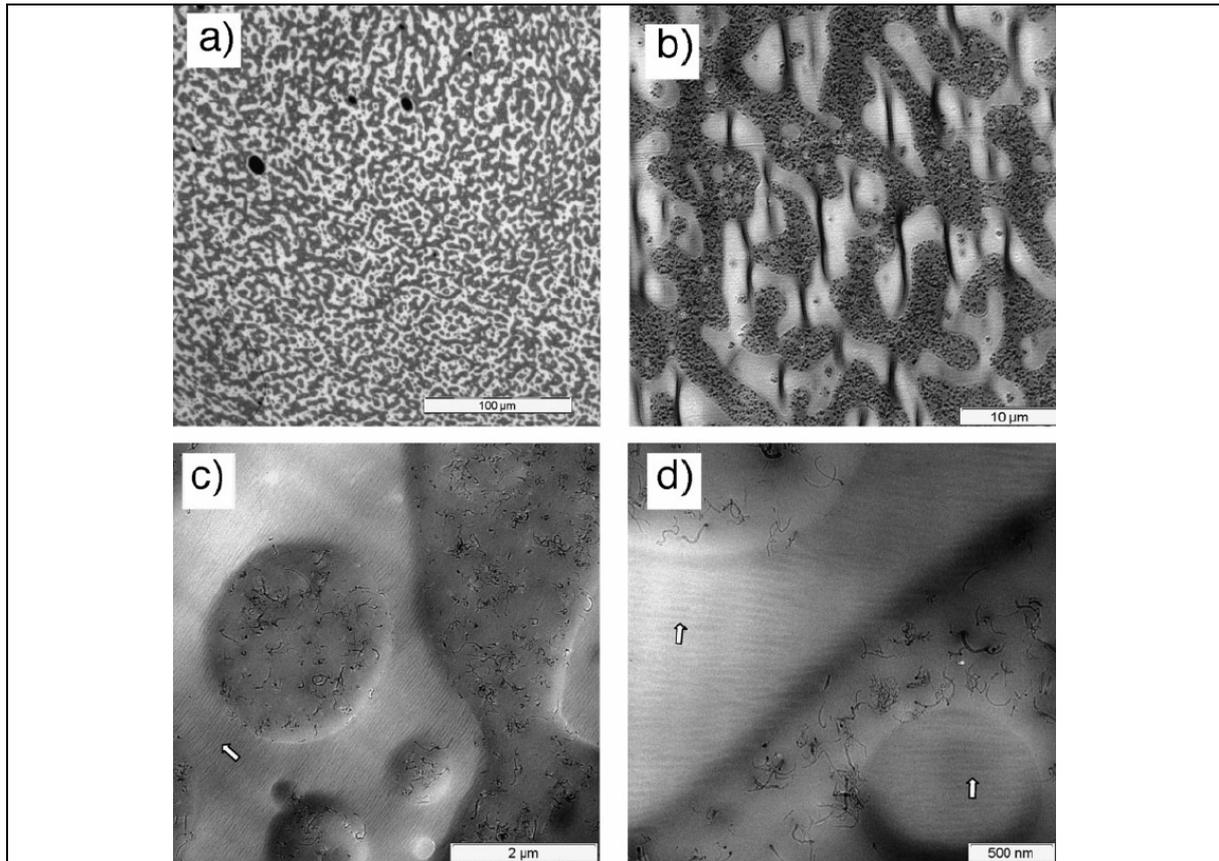


Abbildung 6 Morphologische Strukturen eines durch Vorcompoundierung von 2 Gew.-% Baytubes® C150HP in PC und anschließendes Schmelzeblenden mit reinem SAN hergestellten Blends auf verschiedenen Längenskalen. Transmissionslichtmikroskopische Übersichtsaufnahme (a) und TEM- Aufnahmen (b-d). Die doppelperkolierte Blendstruktur ist in a) und der defokussierten Aufnahme b) klar zu erkennen. Die fokussierten Abbildungen c) und d) verdeutlichen die hochselektive Lokalisierung von Baytubes® C150HP in ausschließlich einer Blendphase.

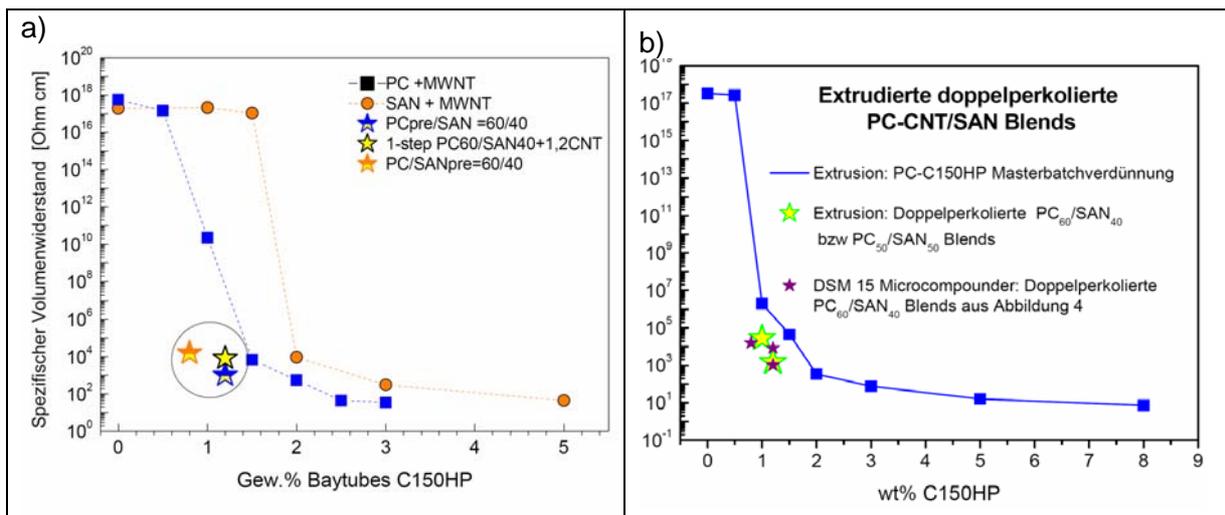


Abbildung 7a) Spezifische Volumenwiderstände von PC-MWNT und SAN-MWNT Kompositen im Vergleich zu Blendkompositen mit doppelperkolinierter Phasenstruktur

Abbildung 7b) Upscaling: des im Kleinstmengenmischversuch für PC/SAN-MWNT-Blends implementierten Doppelperkolinationskonzepts: Herstellung entsprechender Blends am corotierenden Doppelschneckenextruder (Berstorff ZE 25). Vergleich des spezifischen Volumenwiderstands von PC-MWNT Homopolymerskompositen aus Masterbatchverdünnung mit doppelperkolinierter PC/SAN-MWNT Blends aus Extrusion und Kleinstmengenmischversuch

In einem weiteren Schritt erfolgte aufbauend auf der Optimierung der CNT-Dispersion die Übertragung auf PC/ABS Blends. Die Entwicklung dieser Systeme erfolgte analog zur Vorgehensweise bei den Modellblends zunächst im Kleinstmengenmischversuch. Aufgrund der thermodynamischen Vergleichbarkeit des Modellblends und mit den in PC/ABS eingesetzten Polymeren konnte das Doppelperkolationskonzept auch in PC/ABS realisiert werden (**Abbildung 8a**). Das Konzept ermöglichte die Herstellung kommerziell relevanter Blends, die zum Erreichen der elektrischen Perkolationskonzentration deutlich geringere MWNT-Mengen erfordern als ihre Komponenten (**Abbildung 8b**).

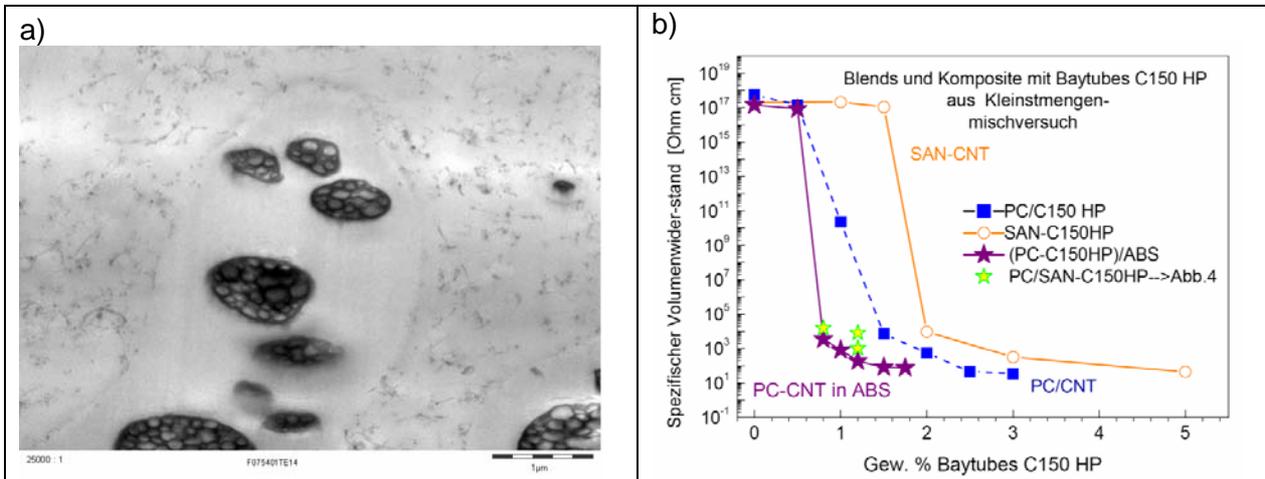


Abbildung 8a) PC Phase mit Baytubes® C150HP (grau); ABS-Phase bestehend aus SAN (hell) und Polybutadien (schwarz, OsO4 Kontrastierung)

Abbildung 8b) Elektrische Volumenwiderstände in verschiedenen CNT-Kompositen. Durch selektive Anreicherung der MWNTs in der PC-Phase von PC/ABS Blends können auch mit diesen kommerziell bedeutsamen Polymer Blends Volumenwiderstände erreicht werden, die deutlich unter denen der Homopolymerkomposite bei gleicher MWNT- Konzentrationen liegen (Kleinstmengenmischversuch, DSM 15).

Bewitterung

Es konnte gezeigt werden, dass durch Einarbeitung von CNTs in polymere Matrices wie Polycarbonat und PC/ABS Blends die photooxidative Schädigung der Polymere durch UV-Absorption weitestgehend unterbunden werden kann. Damit kann im Unterschied zu ungefüllten Materialien ein ausgehend von der Herstellung konstantes Eigenschaftsniveau gewährleistet werden. Allerdings zeigt sich, dass die Einarbeitung der CNTs zu einer Reduzierung von Schlagzähigkeit und Bruchdehnung der unbewitterten Polymere führen kann, während die Zugfestigkeit und Steifigkeit erhöht werden.

Eine ausführliche Darstellung der Zusammenhänge kann im Abschlussbericht zum Projekt (ISBN: 978-3-86829-287-9) und den unter Punkt 9 dieses Berichts aufgeführten Publikationen zum Thema nachgelesen werden.

6. Nutzen für das Unternehmen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses

Das Projekt ist als großer Erfolg für die wissenschaftliche Arbeit der Arbeitsgruppe und des Instituts zu werten. Es konnten grundlegende Fragestellungen zur Dispergierung von Nanotubes, insbesondere Baytubes® -Materialien gewonnen werden, die in alle laufenden Projekte Einzug halten. Die entsprechenden Publikationen in JAPS und Polymer sind als sehr hochwertig einzuschätzen und sind bereits gut zitiert. Beide Arbeiten fanden Eingang in ein unter Mitarbeit des IPF editiertes Buch zu CNT-Polymer-Kompositen. Die Arbeiten zu Nano-

tubes in Polymerblends sind ebenfalls neuartig und boten bereits Ansatzpunkte für direkte Industriekooperationen.

7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes (Schulung, Beratung, Erfahrungsaustausch u. a.)

Ergebnisse aus Compomel flossen in die Vorlesungsreihe „Hochleistungs- und Spezialpolymer“ des Studienganges Werkstoffwissenschaften an der TU Dresden ein. Des Weiteren wurden Teile im Fachforum Carbon Nanotubes des Ostbayrischen Technologie-Transfer-Institutes (OTTI) in 1,5 stündigen Vorträgen vorgestellt, sowohl 2007, 2008 und 2010. Bei diesen Veranstaltungen waren sehr viele Industriepartner anwesend, die auch beraten wurden.

Im Rahmen anderer laufender Projekte und der Haushaltforschung ergaben sich auch außerhalb des Verbundprojektes zahlreiche Kooperationen zu nationalen und internationalen Gruppen und Firmen, so z. Bsp. zum IFW Dresden, TU Dresden -Bereich Klebtechnik, TU Hamburg-Harburg, FHG-IGB, University of Oklahoma (USA), University of South Bretagne (Frankreich) University of Minho (Portugal), sowie den Firmen Nanocyl S.A. (Belgien) und SWeNT (USA).

8. Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Während der Projektbearbeitung von 3,5 Jahren ergaben sich naturgemäß Fortschritte sowohl in der eigenen Arbeitsgruppe in anderen Projekten als auch bei anderen nationalen und internationalen Stellen. Zahlreiche Publikationen berichteten über weitere Stoffsysteme mit CNTs oder ausgewählte Eigenschaften.

Zu den Schwerpunkten der Arbeiten des IPF innerhalb Compomel bezüglich Dispergiermechanismen sind im Berichtszeitraum keine anderen Arbeiten bekannt geworden.

Zur Thematik CNTs in mehrphasigen Polymerblends sind Arbeiten der University of Leuven (Belgien) zu benennen, denen für ein spezielles System eine teilweise Lokalisierung von CNTs an der Grenzfläche gelungen ist. Elektrische oder mechanische Eigenschaften der Blends wurden jedoch nicht untersucht, so dass die praktische Relevanz dieser Ergebnisse offen ist. Ansonsten wurden die von uns publizierten Ergebnisse/Betrachtungsweisen bezüglich der Lokalisierung von CNTs in einigen wenigen anderen Publikationen zitiert.

9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.

Rezensierte Artikel:

Göldel, A.; Kasaliwal, G.; Pötschke, P.:
Selective localization and migration of multiwalled carbon nanotubes in blends of polycarbonate and poly(styrene-acrylonitrile), *Macromolecular Rapid Communications*, **30** (2009), 6, 423-429

Göldel, A.; Kasaliwal, G.; Pötschke, P.:
Selective Localization and Migration of Multiwalled Carbon Nanotubes in Blends of Polycarbonate and Poly(styrene-acrylonitrile), ANTEC 2009 -Proceedings of the 67th Annual Technical Conference & Exhibition, Chicago, IL, June 22-24. Society of Plastics Engineers, Seiten 2662-2669

Kasaliwal, G.; Gödel, A.; Pötschke, P.:

Influence of processing conditions in small-scale melt mixing and compression moulding on the resistivity and morphology of polycarbonate-MWNT composites
Journal of Applied Polymer Science **112** (2009) 6, 2494-3509

Kasaliwal, G.; Pegel, S.; Gödel, A.; Pötschke, P.; Heinrich, G.

Analysis of agglomerate dispersion mechanisms of multiwalled carbon nanotubes during melt mixing in polycarbonate
Polymer **51** (2010) 2708-2720

Kasaliwal, G.; Gödel, A.; Pötschke, P.; Heinrich, G.

Influences of polymer matrix melt viscosity and molecular weight on MWCNT agglomerate dispersion, im Druck bei Polymer
DOI: 10.1016/j.polymer.2011.01.007

Buchbeiträge:

Kasaliwal, G.; Villmow, T.; Pegel, S.; Pötschke, P.

Influence of material and processing parameters on carbon nanotube dispersion in polymer melts, in: Polymer-carbon nanotube composites: Preparation, properties and applications
Woodhead Publishing Limited, ISBN 1 84569 761 8, ISBN-13: 978 1 84569 761 7
2011, Chapter 5, Seiten 92-132

Gödel, A.; Pötschke, P.

CNTs in multiphase polymer blends

in: Polymer-carbon nanotube composites: Preparation, properties and applications
Woodhead Publishing Limited, ISBN 1 84569 761 8, ISBN-13: 978 1 84569 761 7
2011, Chapter 17, Seiten 587-620

Vorträge aus Compomel auf nationalen und internationalen Tagungen:

Gödel, A.; Kasaliwal, G.; Pötschke, P.: Manufacturing of highly conductive polymer/CNT nanocomposites by double percolation in melt mixed MWNT-filled blend systems
13. International Conference Polymeric Materials: Properties, Processing, Modification, Application of Polymeric Materials 2008, Halle/Saale, Abstracts, ISBN: 978-3-940744-17-3

Gaurav Kasaliwal, Andreas Gödel, Petra Pötschke: Effect of processing parameters in small-scale melt mixing and hot pressing on electrical volume resistivity of polycarbonate - MWNT nanocomposites; 13. International Conference Polymeric Materials: Properties, Processing, Modification, Application of Polymeric Materials 2008, Halle/Saale, Abstracts, ISBN: 978-3-940744-17-3

Pötschke, P.; Pegel, S.; Villmow, T., Krause, B.; Kasaliwal, G.; Gödel A. :Big effects with tiny particles - Technology development for melt mixing of carbon nanotubes with polymers, 13. International Conference Polymeric Materials: Properties, Processing, Modification, Application of Polymeric Materials 2008, Halle/Saale, Abstracts, ISBN: 978-3-940744-17-3

Gödel, A.; Kasaliwal, G.; Pötschke, P.: Selective Localization and Migration of Multiwalled Carbon Nanotubes in Blends of Polycarbonate and Poly(styrene-acrylonitril);13. Problem-seminar "Polymermischungen", 2009, Merseburg

Gödel, A.; Kasaliwal, G.; Pötschke, P.: Selective Localization and Migration of Multiwalled Carbon Nanotubes in Blends of Polycarbonate and Poly(styrene-acrylonitril);ANTEC 2009, 22.-24. Juni, Chicago, Illinois, USA

Göldel, A.; Kasaliwal, G.; Pötschke, P.:

Localization of nanoscaled fillers in immiscible polymer blends

CNT Comp09, 4th International Conference on Carbon Based Nanocomposites, Book of Abstracts, ISBN 978-3-941492-08-0, 41-42

Kasaliwal, G.; Göldel, A.; Pötschke, P.; Heinrich, G.:

Mechanisms of MWNT agglomerate dispersion in polycarbonate melts

CNT Comp09, 4th International Conference on Carbon Based Nanocomposites, Book of Abstracts, ISBN 978-3-941492-08-0, 44-45

Kasaliwal, G.; Göldel, A.; Pötschke, P.; Heinrich, G.:

Influence of polycarbonate melt viscosity on the state and mechanism of MWNT dispersion

PPS-25, 25th Annual Meeting of the Polymer Processing Society. Goa, Indien, 01.03.2009 - 05.03.2009. Proceedings auf CD, 4 Seiten, GS-II IL1

Pötschke, P. ; Göldel, A. ; Kasaliwal, G.:

Selective localization and migration of multiwalled carbon nanotubes during melt mixing of blends based on polycarbonate and poly-styrene-acrylonitrile.

PPS-25, 25th Annual Meeting of the Polymer Processing Society. Goa, Indien, 01.03.2009 - 05.03.2009. Proceedings auf CD, 2 Seiten

Göldel, A. ; Kasaliwal, G. ; Pötschke, P.:

Selective localization of CNTs in polymer blends

Nachwuchsworkshop "Komposite mit Carbon Nanotubes" mit TU Hamburg-Harburg. - Dresden, 12.01.2009 - 13.01.2009

Göldel, A. ; Pötschke, P. ; Kasaliwal, G.:

Transfer kinetics and dispersion of carbon nanotubes in a developing blend structure.

2. Nachwuchsworkshop "Komposite mit Carbon Nanotubes". - Hamburg, 02.11.2009 - 03.11.2009

Kasaliwal, G.:

Analysis of dispersion mechanisms of MWNT agglomerates during melt mixing in polycarbonate. -

2. Nachwuchsworkshop "Komposite mit Carbon Nanotubes". - Hamburg, 02.11.2009 - 03.11.2009

Kasaliwal, G.:

Effect of processing parameters in small-scale melt mixing and compression molding on electrical volume resistivity of polycarbonate -MWNT nanocomposites.

Nachwuchsworkshop "Komposite mit Carbon Nanotubes" mit TU Hamburg-Harburg. - Dresden, 12.01.2009 - 13.01.2009

Kasaliwal, G. ; Pötschke, P. :

Effect of processing parameters in small-scale melt mixing and compression molding on electrical volume resistivity and morphology of polycarbonate -MWNT nanocomposites.

Invited guest scientist lecture at Reliance Technology Center, Reliance Industries Limited. - Patalganga (Mumbai), Indien, 16.03.2009

Kasaliwal, G. ; Pötschke, P. :

Influence of processing parameters in small-scale melt mixing and compression molding on electrical volume resistivity and morphology of polycarbonate -MWNT nanocomposites.

Invited guest scientist lecture at Tata research development and design centre, Tata Consultancy Services. - Pune, Indien, 26.03.2009

Anlage zum Schlussbericht des IPF Dresden vom 31.01.2011

Kasaliwal, G. ; Pötschke, P. :

Influence of variation in processing parameters in small-scale melt mixing and compression molding on electrical volume resistivity and morphology of polycarbonate -MWNT nanocomposites.

Invited guest scientist lecture at National Chemical Laboratory. - Pune, Indien, 27.03.2009

Pötschke, P. ; Villmow, T. ; Gödel, A. :

Melt-mixed composites of thermoplastic polymers with carbon nanotubes (CNT).

Bronx Community College, City University of New York. - New York , 30.07.2009

Gödel, A. ; Pötschke, P. ; Kasaliwal, G. :

Transfer mechanisms and localization of conductive nanofillers in different polar blend phases during melt mixing processes

10th European Symposium on Polymer Blends . - Dresden, 07.03.2010 - 10.03.2010

Kasaliwal, G.; Gödel, A.; Pötschke, P.; Heinrich, G.

Influences of polymer matrix melt viscosity and molecular weight on MWCNT agglomerate dispersion

14. International Conference Polymeric Materials 2010, Halle/Saale, Abstracts, ISBN: 978-3-86829-282-4, Beitrag SL T23

Gödel, A.

Interactions of CNTs with thermoplastic polymers - learning from the CNT localization behavior in polymer blends

3. Nachwuchsworkshop "Komposite mit Carbon Nanotubes". - Dresden, 17.01.2011 - 18.11.2011