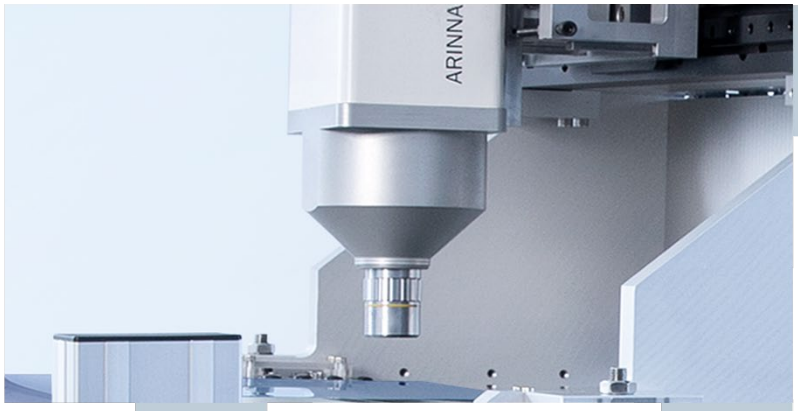
ARINNA Wavelength Scanning Interferometer



1 ARINNA Wavelength Scanning Interferometer

Ein neues Messinstrument wird für schnelle und hochpräzise flächige Oberflächenmessungen von Strukturen im Mikro- und Nanobereich vorgestellt; einschließlich stufenförmiger und frei geformter Oberflächen. ARINNA verbindet in einzigartiger Weise hohe Geschwindigkeit, großen vertikalen Bereich, Nanometer-Auflösung und Millimeterbereich-Sampling.

Durch das Hinzufügen einer neuartigen Schwingungskompensationstechnik ist das System nun auch entsprechend klein, flexibel und robust für die Online-Anbindung.

Das Messprinzip und die Bewertung der Systemleistung werden in diesem Artikel beschrieben.

2 Einführung

The Die topographische Vermessung von Oberflächenmerkmalen im Mikro- und Nanobereich, einschließlich Stufen und Freiformen, ist eine wichtige Herausforderung in vielen Produktions- und Forschungsbereichen. Solche Merkmale können beabsichtigt sein, wie bei strukturierten Oberflächen für eine bestimmte Funktion, oder unbeabsichtigt, wie bei Oberflächenbeschädigungen oder bei unerwünschten Partikeln.

IBS Precision Engineering hat ein Flächeninterferometer entwickelt, der (diskontinuierliche) Strukturen großflächig mit Nanometer-Auflösung messen kann. Es ist schnell und verfügt über integrierte Schwingungskompensation, sodass Inline-Messungen möglich sind.

ARINNA ist in der Lage, diskrete Stufenhöhen und Oberflächengüte mit einer vertikalen Auflösung von <2 nm zu messen. Eine Megapixel-Kamera erfasst einen Oberflächenscan in weniger als 1 Sekunde. Mit einem x2-Objektiv bietet das System eine vertikale Reichweite von 96 µm, eine laterale Auflösung von 5 µm und ein Sichtfeld (FOV) von 8 mm². Es kann für die Inline-Fehlererkennung und -Charakterisierung, optische Oberflächen- und Strukturmessungen, 3D-Vermessungen der Oberflächentopologie, MEMS-/NEMS-Inspektionen und mehr verwendet werden. Eine Vermessung eines Mehrstufen-ICs ist in Abbildung 1 dargestellt.

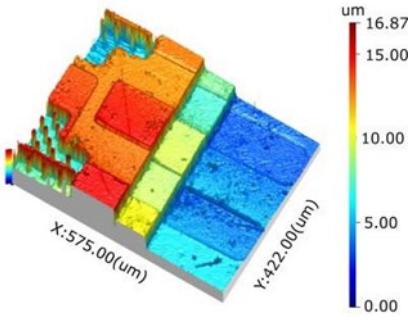


Abbildung 1 Vermessung eines Mehrstufen-ICs.

3 Prinzip des Wellenlängen scannenden Interferometers

Das von ARINNA eingesetzte Messverfahren basiert auf dem Prinzip der Wellenlängen scannenden Interferometrie (WSI). Die Technik beinhaltet die Erfassung eines Satzes von Interferogrammen über einen Satz von Wellenlängen, die auf die Probe oder das Produkt einfallen. Innerhalb eines einzelnen Kamerapixels wird eine sinusförmige Intensitätsänderung abhängig von der Wellenlänge (Rahmennummer) beobachtet, wie in Abbildung 2 dargestellt. Mit Hilfe der Phasenverschiebungen, die zwischen den Interferogrammen erzeugt werden, kann eine Höhenkarte der Oberflächen hergestellt werden.

Die von ARINNA eingesetzte Wellenlängen-Scantechnik vermeidet die Notwendigkeit des mechanischen Scannens im Messkopf, das von einigen interferometrischen Systemen eingesetzt wird. Dies überwindet damit verbundene Einschränkungen sowohl bezüglich der Messgeschwindigkeit als auch der Systemintegration (wie die Fähigkeit zur 360°-Ausrichtung des Messkopfes).

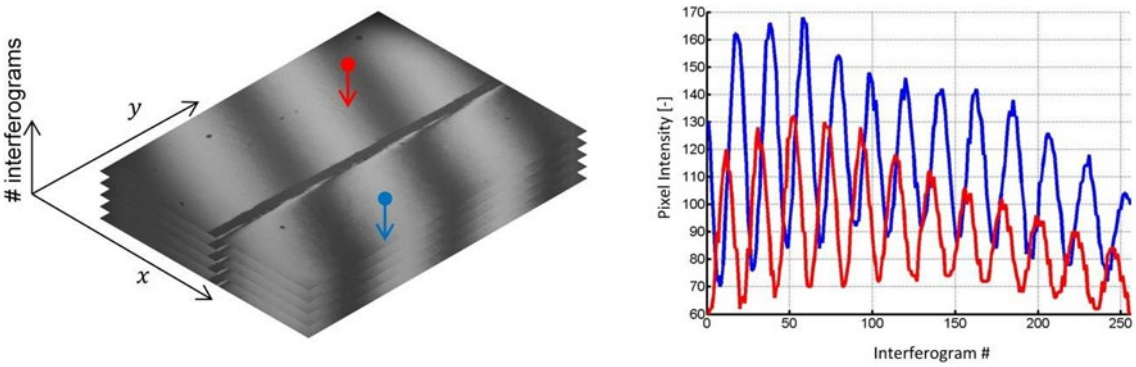


Abbildung 2 Messung von Stufenhöhe mit Darstellung eines 3D-Bildbereichs (links) und Signal von zwei Pixeln über die gescannte Wellenlänge (rechts).

4 Schwingungskompensation

Bei vielen Anwendungen kann die Fähigkeit zur Inline-Messung den erbrachten Nutzen des Messsystems erheblich erhöhen. Wo Oberflächenmerkmale erforderlich sind, um bestimmte Ziele zu erreichen, werden Ergebnisse durch bessere Prozesskontrolle verbessert oder die Prozessoptimierung wird beschleunigt.

Für den Inline-Einsatz wurde eine patentierte Schwingungskompensationstechnik in das Design von ARINNA integriert. Durch diese Technik erübrigt sich die Notwendigkeit von großen und/oder komplexen Isoliersystemen; manchmal ein einschränkender Faktor bei der Anwendung von hochpräzisen optischen Messsysteme vor Ort.

In Abbildung 3 wird eine Datenerfassung mit und ohne Schwingungskompensation dargestellt, in der die wesentliche Verbesserung der gewonnenen Oberflächenmessdaten hervorgehoben wird, die nach einer solchen Rauschentfernung erreicht wird.

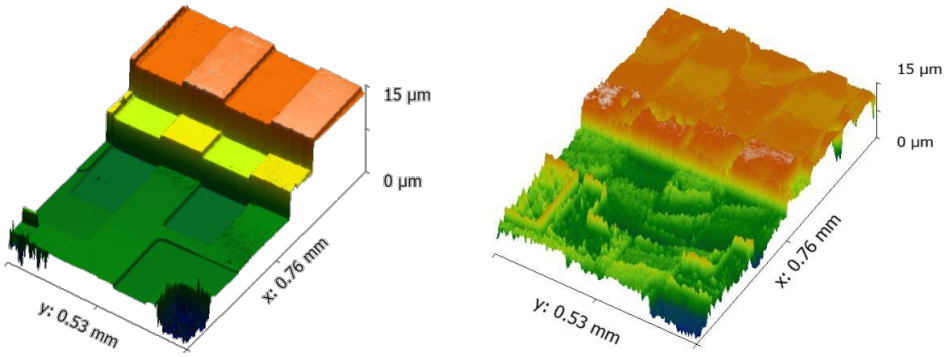


Abbildung 3 Oberflächenscan auf stufenförmiger Oberfläche mit (links) und ohne (rechts) Schwingungskompensation.

5 ARINNA-Spezifikationen

Sowohl die von ARINNA eingesetzte Wellenlängen-Scantechnik als auch die Schwingungsisolationstechnik ermöglichen ein Design mit extrem geringem Platzbedarf, wie in Abbildung 4 gezeigt.

Durch Wechseln der Mikroskop Objektive hat der Benutzer die Möglichkeit, den Vergrößerungsfaktor des Systems zu ändern. Spezifikationen mit 2x und 5x sind in Tabelle 1 angegeben; jedoch kann eine Reihe von Objektiven bis 50x (sogar 100x), verwendet werden.

Da die von ARINNA abgeleitete Höhenmessung auf der Phasenverschiebung basiert, die während des Wellenlängendurchlaufs an der Oberfläche beobachtet wird, ändert sich die Höhenauflösung mit der Vergrößerung nicht. Andere objektivspezifische Parameter wie vertikale Reichweite (Tiefenschärfe) und laterale Reichweite (Sichtfeld) variieren. In Tabelle 1 wird ein Überblick über die Spezifikationen von ARINNA gezeigt.

Tabelle 1 Spezifikationen von ARINNA mit 2x und 5x. Eine Reihe von Objektiven bis zu 100x kann verwendet werden.

Spezifikation	**Wert**	**Einheit**
Vertikale Reichweite (objektivabhängig)	96 (2x-Objektiv) 14 (5x-Objektiv)	µm
Vertikale Auflösung	< 2	nm
Vertikale Genauigkeit	~15	nm
Laterale Reichweite (objektivabhängig)	2,8 x 2,8 (2x-Objektiv) 1,1 x 1,1 (5x-Objektiv)	mm
Laterale Stichproben	1000 x 1000	Pixel
Laterale Reichweite (objektivabhängig)	5 (2x-Objektiv) 5 (2x-Objektiv)	µm
Gemessene Zeit	< 1	s
Autofocus-Zeit	< 1	s

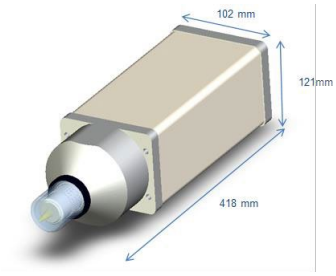


Abbildung 4 Systemmaße.

6 Systemgenauigkeit

Da es sich bei ARINNA um ein Messinstrument handelt, ist es wichtig, dass seine Genauigkeit auf rückführbare Weise qualifiziert wird. Um dies festzustellen, wurden Daten von Messungen verglichen, die sowohl von ARINNA als auch von einem Koordinatenmessgerät mit nachgewiesener rückführbarer Unsicherheit von 11 nm an einem Artefakt vorgenommen worden sind.

Hier wurde eine Stufenendmaß als Artefakt verwendet. Dieses Instrument hat drei Oberflächen, mit einer definierten Stufenhöhe von Oberfläche zu Oberfläche. Dies ist in Abbildung 5 dargestellt.

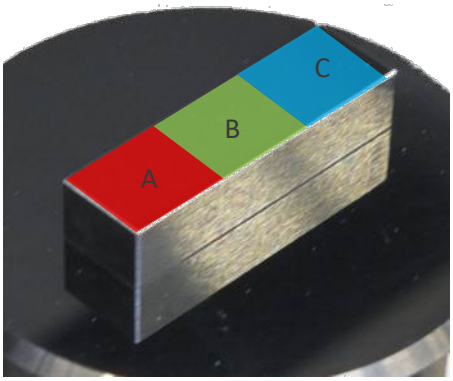


Abbildung 5 Layout Stufenendma.

7 ARINNA Messung

In Abbildung 6a) wird eine Standardmessanordnung gezeigt, in welcher der ARINNA-Messkopf auf einem horizontalen Verschiebetisch montiert ist, um über die Probe zu gelangen (in diesem Beispiel eine konvexe Linse). Abbildung 6b) zeigt eine Nahaufnahme der Stufenendmaßmessung. Eine Z-Achse wird für die Autofokussierung in Bezug auf das Objekt verwendet.

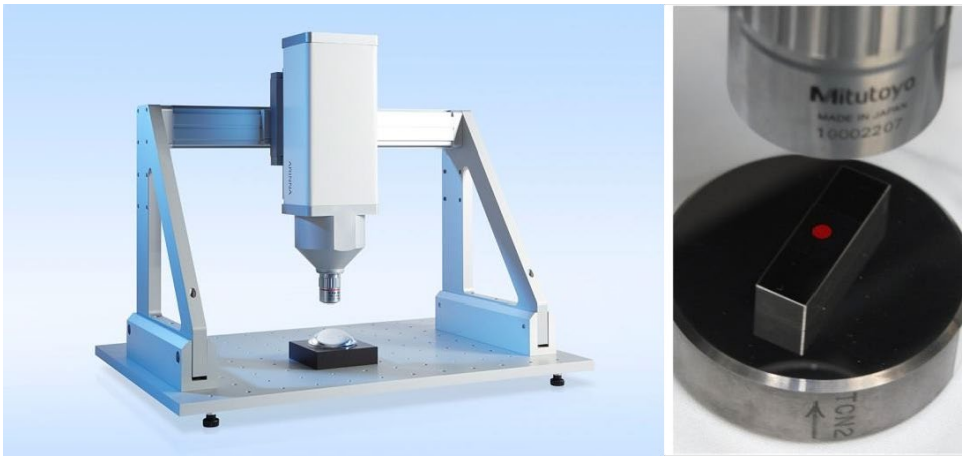


Abbildung 6a) ARINNA auf einem Messaufbau (links) montiert. Abbildung 7b) die Messanordnung der Stufenendmaß zeigt das Mikroskop Objektiv und den Messpunkt.

Die Messung der Stufenendmaß-Stufenhöhen AB und BC wurden mit 5-facher Vergrößerung durchgeführt. Die gemessenen Daten der Stufenhöhen sind in Abbildung 7 zu sehen.

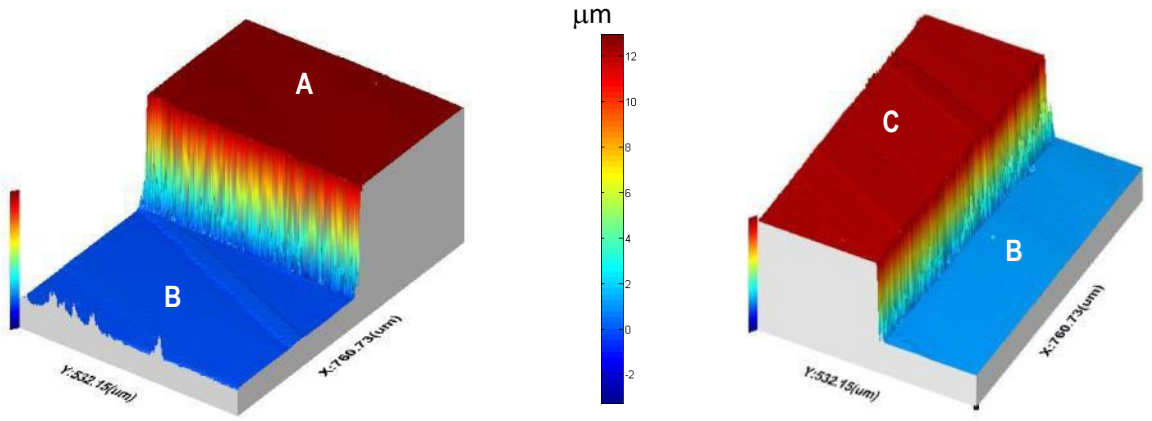


Abbildung 7 ARINNA-Messergebnisse zu den beiden Stufenhöhen in der Stufenendmaß, mit Stufe AB (links) und BC (rechts).

Die Stufenhöhe wird durch Messen des Abstandes zwischen den mittleren Höhen jeder Fläche berechnet. Daraus ergibt sich eine Stufenhöhe von 12,649 µm für Stufe AB und 12,479 µm für Stufe BC. Nach Beendigung der Messung wurde das Artefakt zu einem ISARA 400 KMG gebracht und die Stufenhöhendaten wurden erneut erfasst.

8 Vergleich mit ISARA 400

Das ISARA 400 Koordinatenmessgerät wurde als Referenzmesssystem zur Beurteilung der WSI-Messtechnik von ARINNA verwendet.

Um die Genauigkeit der ISARA 400 zu verifizieren, ist davor ein Ø150 mm Zerodur-Flachspiegel-Referenzartefakt gemessen worden. Die Ebenheit des Spiegels wurde mit Fizeau-Interferometrie an Deutschlands nationalem Metrologie Institut, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) gemessen. Das Ergebnis dieser Ebenheitsmessung kann direkt auf internationale Standards rückführbar verfolgt werden. Bei der gemessenen PTB-Probe wurde festgestellt, dass 95,5% der Datenpunkte auf weniger als 11 nm mit der PTB-Kalibrierung[1] übereinstimmen.

9 Messaufbau auf der ISARA 400

Abbildung 8 zeigt das 3D-Ultrapräzisions-Koordinatenmessgerät ISARA 400 und den Messaufbau an der Maschine. Zur Vermessung der Stufenendmaß wurde erst ein CAD-Modell in die KMG-Software importiert und 5 Punkte auf dem Teil manuell zur Ausrichtung sondiert. Die Messung wurde dann durchgeführt, wobei jeder der drei Oberflächen an 950 Punkten abgetastet wurde.

Die Stufenhöhen werden durch Nivellierung aller Flächen an die Oberfläche B und den Vergleich der mittleren Höhen berechnet. Dies ergibt eine Stufenhöhe von 12,631 µm für die Stufe AB, und für die Stufe BC wurde eine Höhe von 12.495 µm gemessen. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt.



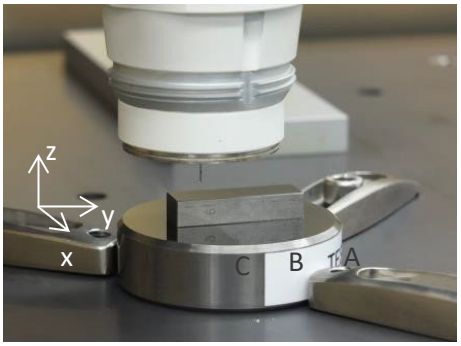


Abbildung 8 Das ISARA 400 3D Ultrapräzisions-KMG (Links) und der Messaufbau der Stufenendmaß zeigen den Triskelion-Messtaster (Rechts).

[1] I. Widdershoven, M. Baas and H. Spaan, “Ultra-precision 3D coordinate metrology results showing 11 nm accuracy”, Proceedings of the 11th international symposium of measurement technology and intelligent instruments (ISMTII), July 2013

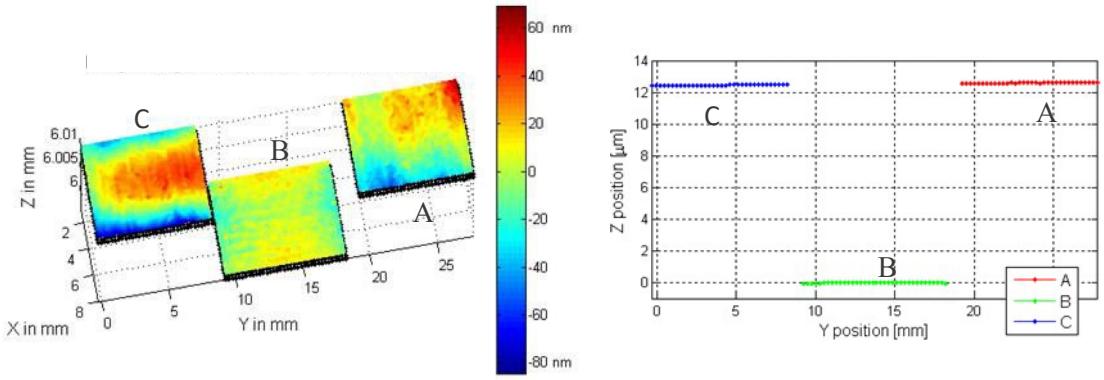


Abbildung 9 Messergebnisse der Stufenendmaß an der ISARA 400 mit Oberflächendarstellung (Links) und Querschnitt der Oberflächen (Rechts).

10 Ergebnisse

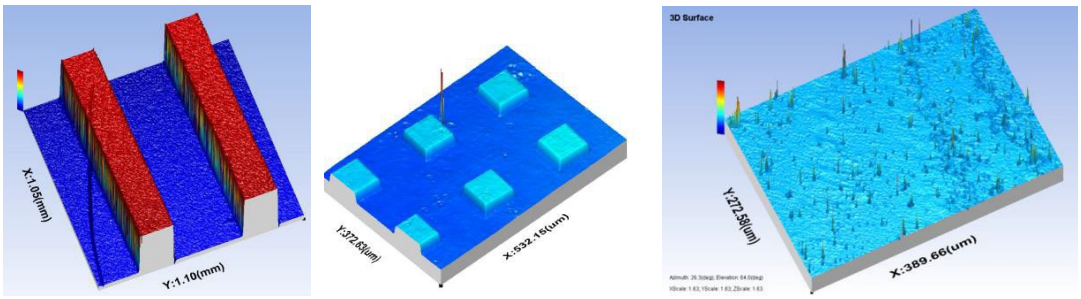
Ein Vergleich der Messdaten zwischen ARINNA und ISARA 400 zeigt eine maximale Abweichung der Stufenhöhenmessung von 18 nm. Diese Abweichung stimmt mit der kombinierten Messgenauigkeit von ISARA 400 und ARINNA überein. Dies zeigt, dass ARINNA als schnelles und hoch genaues Messinstrument zur Vermessung von Oberflächen im Mikro- und Nanobereich verwendet werden kann.

Tabelle 2 Messvergleich zwischen ARINNA und ISARA 400.

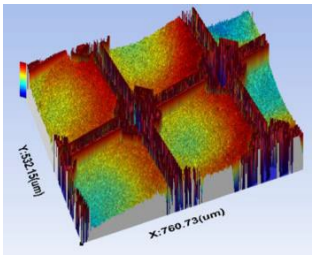
Stufe	WSI	ISARA 400	Unterschied
A-B	12.649 µm	12.631 µm	18 nm
B-C	12.479 µm	12.495 µm	16 nm

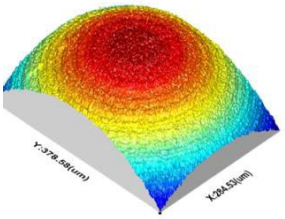
10.1 Anwendungen

ARINNA ist für die kalibrierte Messung eines Bereichs von industriell relevanten Strukturen geeignet. Eine Auswahl von Messungen ist in Abbildung 10 zu sehen und zeigt das kombinierte Potential aus großem vertikalem Bereich, Sub-2-nm-Auflösung und der Fähigkeit, diskontinuierliche Oberflächen zu messen.



a) **b)** **c)**





d) **e)**

Abbildung 10 ARINNA-Messergebnisse:
a) 5µm-Säulen auf integriertem Schaltkreis
b) Strukturierte Oberfläche mit um 100 nm erhöhten Plattformen
c) Schmutzpartikel auf PET-Folien (z-Bereich 20µm)
d) MEMS-Spiegelarray (z-Bereich 230nm)
e) Fresnel-Linse (z-Bereich 2µm)

11 Ergebnis

ARINNA wurde als neues Messinstrument für die schnelle und hochpräzise flächige Oberflächenmessungen von Strukturen im Mikro- und Nanobereich vorgestellt; einschließlich stufenförmiger und frei geformter Oberflächen. Durch einen Vergleich mit einem rückführbaren Kontaktmesssystem wurde nachgewiesen, dass die absolute Messunsicherheit unter 18 nm liegt. Tests mit einer Reihe von Proben haben die Kombination aus hoher Geschwindigkeit, großer vertikaler Reichweite, Nanometer-Auflösung und Millimeterbereich-Sampling bestätigt.

Durch das Hinzufügen eines neuartigen Schwingungskompensationsschemas ist das System nun auch für die Online-Anbindung geeignet.

Ein Teil der Entwicklung der WSI-Technologie erfolgte innerhalb des EU-FP7-NanoMend Projekts. Die Autoren möchten der EG für die Finanzierung dieser Arbeit (NanoMend NMP4 LA-2011 bis 280.581) danken.