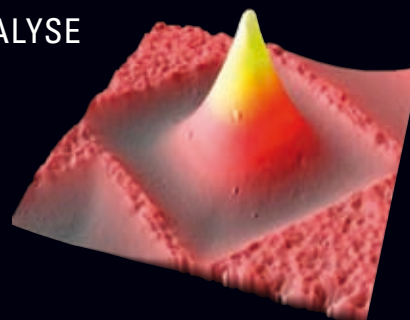


KUNDENMAGAZIN FÜR INDUSTRIE & MATERIALWISSENSCHAFTEN
SONDERAUSGABE OBERFLÄCHENANALYSE



reSOLUTION

1661.36
124

Blütensammler

Digitalmikroskopie hilft, Geldfälscher zu entlarven

Wieviel „Digital“ brauchen Sie wirklich?

Trends in der Mikroskopie

Technologiehochzeit

3D-Messmikroskop kombiniert Konfokal- und Interferometrietechnik

SONDERAUSGABE



Liebe Leser,

technische Oberflächen sind nicht einfach nur glatt oder rau. Vielmehr sind es gerade die speziellen Oberflächenstrukturen, die Bauteilen und Materialien ihre funktionellen Eigenschaften verleihen. Der Lotuseffekt, mit dem immer mehr Produkte ausgestattet werden, ist nur ein Beispiel, wie komplexe Mikro- und Nanogeometrien Oberflächeneigenschaften gezielt beeinflussen können. Diese Strukturen werden erst unter hochauflösenden Mikroskopen sichtbar.

Es gibt unzählige Bauteile und Materialien, deren Oberfläche mikro- oder nanometergenau geprüft werden muss, um Fehlfunktionen oder Ausfälle zu vermeiden. Meist müssen die Messungen nicht nur hoch präzise und reproduzierbar sein, sondern auch schnell erfolgen, um Produktionsprozesse nicht zu unterbrechen. Entsprechend hohe Anforderungen werden an moderne mikroskopische Bildgebungssysteme und quantitative Auswertungsmethoden gestellt.



In dieser Sonderausgabe der reSOLUTION für Industrie & Materialwissenschaften stellen wir Ihnen zwei innovative Mikroskopsysteme vor, die speziell für anspruchsvolle 3D-Oberflächenmessungen entwickelt wurden: die neuen Digitalmikroskope Leica DVM5000 – 2000, deren Flexibilität und Schnelligkeit ihresgleichen sucht, und das Dual-Core 3D-Messmikroskop Leica DCM 3D mit integrierter Konfokal- und Interferometrietechnologie. Lesen Sie dazu auch die Beiträge zu Anwendungsbeispielen. Weiterhin berichten wir über eine Software-Lösung zur Oberflächenquantifizierung, sowie eine neue LED-Beleuchtung für reflektierende Proben, die beide in Kombination mit High-End-Stereomikroskopen eingesetzt werden.

Wir hoffen, dass wir mit dieser Sonderausgabe Ihr Interesse wecken. In den kommenden reSOLUTION Ausgaben wollen wir weitere spannende Anwendungen zum Thema Oberflächenmessungen vorstellen. Wenn wir auch über Ihre Anwendung berichten dürfen, freuen wir uns über Ihre Nachricht.

Anja Schué
Communications & Corporate Identity

Carola Troll
European Marketing Manager Industry

DIGITALMIKROSKOPIE

Blütensammler

Digitalmikroskopie hilft, Geldfälscher zu entlarven

03

Die neue Qualität im optischen Profiling

Digitalmikroskope Leica DVM5000 – 2000

06

Wieviel „Digital“ brauchen Sie wirklich?

Trends in der Mikroskopie

08

DUAL-CORE MESSMIKROSKOP

Technologiehochzeit

3D-Messmikroskop kombiniert Konfokal- und Interferometrietechnik

12

Nanometergenau und sekundenschnell

Charakterisierung von Solarzellen

15

Kein Fehler bleibt unentdeckt

Inspektion mikrooptischer Komponenten

17

SOFTWARE

Rechenkünstler

Das Stereomikroskop als 3D-Messgerät

19

BELEUCHTUNG

Reflexionsbändiger

Homogene Dombeleuchtung für schwierige Proben

22

REGISTRIERUNG

21

IMPRESSUM

23

Digitalmikroskopie hilft, Geldfälscher zu entlarven

Blütensammler

Falschgeld will niemand in seinem Geldbeutel haben. Selbst Fälscher wollen ihre Eigenkreationen so schnell wie möglich loswerden. Doch es gibt Menschen, die sich von Rechts wegen intensiv mit Falschgeld beschäftigen. Martin Weber vom Nationalen Analysezentrum der Deutschen Bundesbank für Bargeld in Mainz ist einer der Sachverständigen für Banknotenfälschungen. Sind die meisten gefälschten Euro-Scheine auch für Laien ohne Hilfsmittel als Blüten erkennbar, braucht es die Hilfe der Mikroskopie, um die Handschrift der Fälscher zu ermitteln und sie zu überführen. Zusätzlich zu Stereomikroskopen setzt die Bundesbank nun auch ein neues Digitalmikroskop Leica DVM5000 ein, um Fälschungen noch genauer untersuchen und Schulungen effektiver gestalten zu können.

Herr Weber, welche Aufgabe haben Sie und Ihre Kollegen im Nationalen Analysezentrum der Deutschen Bundesbank?

Als Nationales Analysezentrum ist es unser gesetzlicher Auftrag, uns um falsche und falsch verdächtige Banknoten und Münzen zu kümmern. Weiterhin kümmern wir uns um beschädigtes Bargeld, das wir dem Einreicher, wenn die Erstattungskriterien erfüllt sind, ersetzen. Mein Team ist dabei auf falsche Banknoten spezialisiert. Zusätzlich begutachten wir für die Polizei alles, was laut Gesetz wie Bargeld gehandhabt wird: Zahlungskarten, Wertpapiere, Reiseschecks sowie kursfähige Gold- und Silbermünzen.

Unsere Kernaufgabe ist also nicht, wie man vielleicht vermuten könnte, festzustellen, ob Banknoten echt oder falsch sind. Das sehen unsere geschulten Augen auf den ersten Blick. Viel wichtiger für uns ist, zu untersuchen, ob eine Fälschung zu bereits bekannten passt und mit welchen Verfahren sie hergestellt wurde. Ein Fälscher hinterlässt eine ganz individuelle Handschrift. Er verwendet immer dasselbe Herstellungsverfahren und konzentriert sich meist auf bestimmte Sicherheitsmerkmale, die er für wichtig hält, oder die er besonders gut zu beherrschen glaubt. Meistens begeht er dann an anderen Stellen leicht erkennbare Fehler. So können wir Fälschungen meist eindeutig einem zunächst unbekannten Täter zuordnen. Wird dieser gefasst, können wir vor Gericht nicht nur beweisen, dass und wie er die Scheine hergestellt hat, sondern auch Anhaltspunkte geben, über welchen Zeitraum er tätig war.

Die meisten Fälschungen bekommen wir von der Polizei. Seltener reichen Banken verdächtiges Bargeld bei uns direkt ein. Nach der Untersuchung der Fälschungen bekommt die Polizei unsere Gutachten und Ergebnisse, die sie dann an den Staatsanwalt weiterleitet. Zur Gerichtsverhandlung kann der Richter uns als Sachverständige anfordern, um die Gutachten zu erläutern.



Foto: © Deutsche Bundesbank

Wie untersuchen Sie die Fälschungen?

Wir konzentrieren uns fast ausschließlich auf die visuelle Untersuchung. Wir setzen dazu Stereomikroskope mit bis zu 100facher Vergrößerung mit verschiedenen Lichtquellen und Filtern ein. Zusätzlich ist ein „Fälscher-nahes“ Fachwissen unerlässlich. Alle fünf Sachverständigen in unserer Gruppe haben ein Studium der Druckereitechnik absolviert. Wenn wir eine Fälschung unter dem Mikroskop mit Auflicht, Durchlicht oder UV-Licht anschauen, erkennen wir sehr genau, auf welche Weise sie hergestellt wurde.

Abb. 1: Martin Weber vom Nationalen Analysezentrum der Deutschen Bundesbank für Bargeld erkennt als Fachmann Fälschungen auf den ersten Blick.



Abb. 2: Das Leica DVM5000 bei der Analyse einer Banknote. Mit Hilfe der hohen Vergrößerungen, der flexiblen Zoom-Optiken und der hohen Schärfentiefe können die Experten herausfinden, wie Falschgeld hergestellt wurde und zu welcher bereits bekannten Handschrift eine Fälschung passt.

Welche Vorteile bietet Ihnen das Digitalmikroskop?

Das neue Digitalmikroskop ist für uns eine gute wie notwendige Ergänzung. In puncto Vergrößerung stoßen wir mit den Stereomikroskopen an unsere Grenzen. Nun können wir mit höheren Vergrößerungen und besserer Schärfentiefe Papierstrukturen, Farben und Pigmente wesentlich genauer untersuchen, beispielsweise Effektpigmente und Beugungsstrukturen bei Hologrammen. Auch weil die Tintenstrahldrucker der Fälscher immer feiner auflösen, benötigen wir hohe Vergrößerungen.

Die Flexibilität des Digitalmikroskops ist für uns ebenfalls sehr vorteilhaft. Ein Beispiel: Mit dem Kippstativ können wir die Bewegungseffekte bei den Sicherheitsmerkmalen aufnehmen. Mit den höheren Vergrößerungen und den flexiblen Zoom-Optiken lässt sich auch wesentlich detaillierter nachweisen, ob mit Drucker oder Papier, die die Polizei bei Verdächtigen beschlagnahmt hat, bekannte Fälschungen hergestellt wurden.

Die digitale Technologie ist für uns auch deshalb wichtig, weil die Dokumentation unserer Arbeit einen sehr hohen Stellenwert einnimmt. Kein Ergebnis, das nicht in digitalen Bildern festgehalten wird. Sei es

für Gutachten mit aussagekräftigen Bildern, die vor Gericht die Beweisfindung erleichtern, oder für Diskussionen im Kollegenkreis. Zudem helfen Bilder von Fälschungsdetails in unserem gut funktionierenden, europaweiten Netzwerk, den Tätern auf die Spur zu kommen. In Deutschland entstehen vergleichsweise wenige Fälschungen. Die größten Mengen stammen von international organisierten Gruppen.

Sie führen auch Schulungen für Polizei, Handel und Banken durch. Was vermittelt Sie dabei und welche Vorteile bietet das Digitalmikroskop?

Schulungen nehmen einen wachsenden Anteil unserer Arbeit ein. Eine Zielgruppe sind Mitarbeiter der Kriminalpolizei und der Landeskriminalämter, denen wir erläutern, wie Fälscher arbeiten. Die zweite Zielgruppe sind Personen, die im Einzelhandel oder bei Banken an der Kasse arbeiten und die von den jeweiligen Filialen der Bundesbank vor Ort trainiert werden. Dazu zeigen wir unter anderem einen Mustersatz an Fälschungen, um zu demonstrieren, welche Probleme Fälscher bei den Sicherheitsmerkmalen haben.

Oftmals sind wir allerdings überrascht, wie wenig so mancher Teilnehmer mit den Sicherheitsmerkmalen der Euro-Banknoten vertraut ist. Mit Hilfe dieser Merkmale lassen sich Fälschungen mit großer Sicherheit ohne technisches Geräte erkennen. Es nutzt allerdings wenig zu wissen, dass es beispielsweise ein Hologramm gibt, wenn man nicht weiß, wie es bei echten Scheinen aussehen muss. Wichtig ist auch, im Verdachtsfall immer mehrere Sicherheitsmerkmale zu prüfen.

Auf internationaler Ebene veranstalten wir mehr und mehr Seminare mit Kollegen anderen Zentralbanken zum Erfahrungsaustausch auf Expertenebene. Über unsere Abteilung Technische Zentralbank-Kooperation helfen wir mitunter auch, in anderen Ländern Analysezentren für Bargeld auf- bzw. auszubauen. In unserem Labor haben wir für In-House-Trainings einen großen Flachbildschirm installiert, den wir direkt mit dem Digitalmikroskop verbinden können. So können alle Teilnehmer live mitverfolgen, was und wie wir unter dem Mikroskop untersuchen. Die neue digitale



Technologie hilft uns somit, Vorträge und Schulungen effektiver und lebendiger zu gestalten.

Wie hat sich das Falschgeldaufkommen in den letzten Jahren entwickelt?

Im Jahr 2009 hat die Bundesbank 52.500 falsche Euro-Banknoten registriert. Damit stieg die Zahl der Fälschungen gegenüber dem Vorjahr um 28 Prozent. Allerdings ist der entstandene Schaden von 3,5 auf 3,1 Millionen Euro gesunken, dem niedrigsten Stand seit Euro-Einführung. Das hängt damit zusammen, dass weniger große 100 oder 200 Euro-Noten, sondern zunehmend 20 und 50 Euro-Noten gefälscht werden. Denen wird im täglichen Umgang weniger Aufmerksamkeit gewidmet. Mit statistisch gesehen sechs Fälschungen pro 10.000 Einwohner pro Jahr liegt Deutschland weit unter dem Durchschnitt im Euro-Raum. Die Zahl verdeutlicht auch, wie gering

das Risiko für den Bürger ist, mit Falschgeld in Berührung zu kommen. Zwar hat das zur Folge, dass den Sicherheitsmerkmalen wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Angesichts des geringen Risikos für Privatpersonen und der Aufklärungserfolge der Polizei beunruhigt uns dies nicht zu sehr. Durch unsere kontinuierliche Aufklärungsarbeit, die umfangreichen Informationsmaterialien, die für jeden über das Internet kostenlos zugänglich sind, versuchen wir vielmehr, möglichst viele Personen zu erreichen.

Kontakt

Dipl.-Ing. Martin Weber,
Sachverständiger für Banknotenfälschungen
Nationales Analysezentrum der Deutschen
Bundesbank, Mainz
nacde@bundesbank.de
www.bundesbank.de



Abb. 3: Folienelement der 500 Euro-Note, aufgenommen mit dem Schwenkstativ des Digitalmikroskops in einem Winkel von ca. 45°

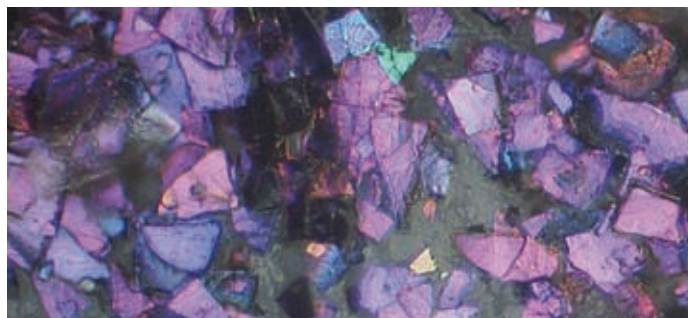


Abb. 4: Spezielles OVI-Pigment, das nur auf echten Euro-Noten von 50 – 500 EUR zu finden ist. Hier eine Aufnahme bei 1000x Vergrößerung.



Abb. 5: Tonerpartikel und Papierfasern einer Fälschung



Abb. 6: 3D-Aufnahme des Stichtiefdrucks auf einer echten 500 Euro-Note. Durch das Profil wurde ein Schnitt gelegt.

Fotos: © Deutsche Bundesbank



Geldmuseum der Deutschen Bundesbank

Viel Interessantes zum Thema Bargeld, seiner Geschichte, seiner Herstellung und Verwendung präsentiert das Geldmuseum in der Zentrale der Bundesbank in Frankfurt.

www.geldmuseum.de

Sicherheitsmerkmale

Zu den Sicherheitsmerkmalen der Euro-Banknoten stellt die Bundesbank auf ihrer Internetseite anschauliche Informationen zur Verfügung sowie Broschüren und CD-ROMs zum Bestellen.

www.bundesbank.de/bargeld

Digitalmikroskope Leica DVM5000 – 2000

Die neue Qualität im optischen Profiling

Digitale Technologien haben unsere Arbeitswelt und unseren Alltag in etlichen Bereichen revolutioniert. Ein Ende der Innovationen ist längst noch nicht in Sicht. Insbesondere die industrielle Qualitätskontrolle, die höchste Anforderungen an makro- und mikroskopische Bildgebung und Bildverarbeitung stellt, profitiert von innovativer Digitaltechnik. Die Generation von Digitalmikroskopen von Leica Microsystems eröffnet neue Horizonte in puncto Mobilität und Schnelligkeit. Sie bieten für viele Anwendungen eine ideale Ergänzung zu traditionellen Ansätzen.

Die drei digitalen Mikroskoplösungen Leica DVM5000, DVM3000 und DVM2000 bieten Ihnen alle Varianten – vom intelligenten, tragbaren All-in-One-System bis zum modularen Einsteigermodell. Das mikroskopische Bild wird direkt auf einem hochauflösenden Monitor dargestellt, ohne dass Sie durch ein Okular schauen müssen. Die schlanken Zoomoptiken erreichen selbst extrem schwierig zugängliche Oberflächen, und erlauben sogar die zerstörungsfreie Inspektion großer ortsgebundener Bauteile, die mit traditionellen Mikroskoptechniken nicht ohne großen Aufwand möglich ist. Leica Digitalmikroskope überzeugen dabei nicht nur durch ihre optische Qualität, sondern zeigen ihre Stärken auch in der Vielfalt der quantitativen Analysemöglichkeiten – ob 2D-Analysen oder anspruchsvolle 3D-Oberflächenmessungen. Jedes System kann durch ein umfangreiches Komponenten- und Zubehörprogramm für Ihre Anwendungsspezifikationen und individuellen Anforderungen konfiguriert werden.

Das portable All-in-One-System

Üblicherweise kommt die Probe zum Mikroskop. Doch es gibt Produkte, die können weder transportiert werden, noch kann eine Probe für die mikroskopische Analyse genommen werden, weil nur eine zerstörungsfreie Inspektion möglich ist. Für das Leica DVM5000 sind solche Situationen überhaupt kein Problem. Hier kommt das Mikroskop zur Probe. Das Digitalmikroskop inklusive Optik, Monitor und Haupteingang wandelt sich mit wenigen Handgriffen in ein kompaktes und tragbares System. Damit sind Einsätze bei ortsgebundenen Objekten, wie beispielsweise Produktionsmaschinen oder Flugzeugen jederzeit möglich.

Das hochintegrierte durch herausragende und Schnelligkeit aus. Zeit liefert das Leica gewünschten Ergebnisse. Komplexe 3D-Modellierung Sekundenschnelle

System zeichnet sich durch die Leistungsfähigkeit Innerhalb kürzester DVM5000 die Ergebnisse, auch komplexen sind in verfügbar.

Abb. 1: Das tragbare All-in-One-System Leica DVM5000 ist ein hochintegriertes System, das sich durch außergewöhnliche Leistungsfähigkeit und Schnelligkeit auszeichnet.



Flexibel in jeder Hinsicht

Das Leica DVM3000 besticht durch seine Flexibilität und seine Offenheit. Das mobile Tischgerät umfasst alle Elemente, die für die digitale Mikroskopie erforderlich sind: Zoom-Optik mit kodierten Vergrößerungen, leistungsfähige Digitalkamera, integrierte Metaldampf-Lampe, Standardschnittstellen für PC und Monitor. Damit können alle Probenrelevanten Daten an den PC zur anschließenden Auswertung übermittelt werden. Diese offene Struktur macht das DVM3000 zu einem kompakten und gleichzeitig flexiblen Digitalmikroskop für eine Vielzahl von Applikationen. Für die Auswertung kann der Anwender das ganze Spektrum der verfügbaren Anwendungssoftware nutzen: von einfacher Bildgebung über 2D-Messungen bis hin zu hochspezifischen Rauigkeitsmessungen in 3D mit anschließender Dokumentation über herkömmliche Microsoft-Office-Programme.

Konzentriert auf das Wesentliche

Mit dem Leica DVM2000 bietet Leica Microsystems das ideale Einstiegsmodell in die Welt der digitalen Qualitätssicherung. Das modulare System aus Zoomoptik, Digitalkamera und Software basiert auf Standardkomponenten. Dadurch lässt Ihnen das Leica DVM2000 aber auch viele Freiheiten, aus dem umfassenden Produkt und Zubehörprogramm von Leica Microsystems eine digitale Lösung zusammenzustellen, die genau Ihren Ansprüchen entspricht. Zudem bietet die Leica Application Suite eine Vielzahl von Softwaremodulen für unterschiedliche Analysen und Auswertungen.



Abb. 2: Der 360°-Drehkopf liefert eine Rundumsicht der Probe, die ganz neuartige Betrachtungsmöglichkeiten eröffnet. Als Nebeneffekt des sich drehenden Bildes erhält der Anwender einen realistischen Eindruck der Dreidimensionalität der Probe.

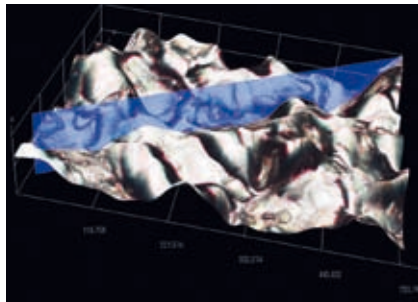


Abb. 3: 3D-Profiling in allen Varianten: 3D-Profile von Höhen, Breiten und Oberflächenstrukturen; Darstellung als Textur, Farbhöhenkodierung oder Gitternetzmodell; Höhendifferenz- und Volumenmessungen; kombiniertes 2D- und 3D-Profiling.

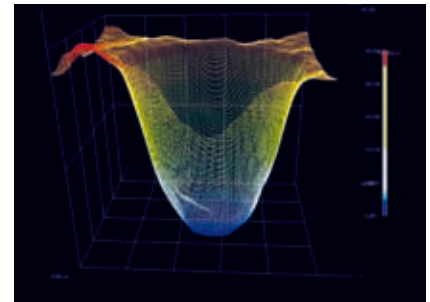


Abb. 4 : 3D-Modelle in Sekunden: Die Software visualisiert gewünschte 3D-Modelle innerhalb weniger Sekunden. Weitergehende Analysen wie Profilbestimmung oder Rauigkeitsmessungen erhält der Anwender mit wenigen Mausklicks.

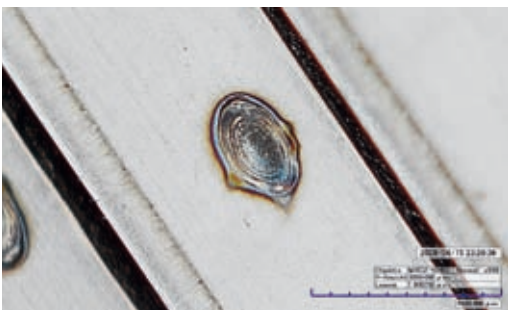


Abb. 5: High-Dynamic-Range (HDR) liefert perfekte Bilder: Leica Microsystems setzt bei seinen digitalen Mikroskopkameras schon seit langem die moderne 16-Bit-Einzelfarberfassung ein, um den gesamten dynamischen Bildbereich auszuschöpfen. Damit werden unter- oder überbelichtete Bildbereiche vermieden und schwierige Oberflächen wie Metallschliffe perfekt dargestellt.



Abb. 6: Mosaik – alles detailgenau erfassen: gleichzeitig kleinste Details analysieren und große Flächen dokumentieren ohne kodierten oder motorisierten Tisch. Ein intelligenter Algorithmus erzeugt perfekte Mosaikbilder.



Abb. 7: LAS – messen ohne Grenzen: Das Messmodul der Leica Application Suite (LAS) ermöglicht vielfältige Auswertungen – von einfachen Punkt-zu-Punkt-Messungen bis zu intelligenten Bilderkennungs-Algorithmen. Mit dem LAS-Messmodul können unter anderem automatische Bildanalysen zur Bestimmung von Phasenteilen, Korngrößen, Partikeln durchgeführt werden.

Trends in der Mikroskopie

Wie viel „Digital“ brauchen Sie wirklich?

Es gibt digitale Kameras, digitales Fernsehen, digitale Bilderrahmen, im Internet gibt es digitale Schulen, Kryptologen entwickeln digitale Signaturen, Kommunikationsforscher reden von digitaler Identität. Digital – ein häufig strapaziertes Modewort, doch es ist unübersehbar, dass die digitale Technik seit der Erfindung des Computers unsere Welt tiefgreifend verändert hat und weiter verändern wird. Das gilt auch für die Mikroskopie. Anfangs waren es digitale Mikroskopkameras, die Anwendern in allen Bereichen der Mikroskopie mehr und bessere Möglichkeiten für Dokumentationen und Auswertungen eröffneten. Heute sind bereits Digitalmikroskope auf dem Markt, die sich von der klassischen Art zu mikroskopieren verabschiedet haben. Neue Technologien erhalten immer viel Aufmerksamkeit. Und Digitalmikroskope bieten ja auch viele Vorteile. Doch sie sind kein Patentrezept, das klassische Mikroskope überall ersetzen kann. Deshalb lohnt es sich, genauer hinzuschauen und sowohl die Vorteile als auch die Grenzen der Digitalmikroskopie zu kennen.

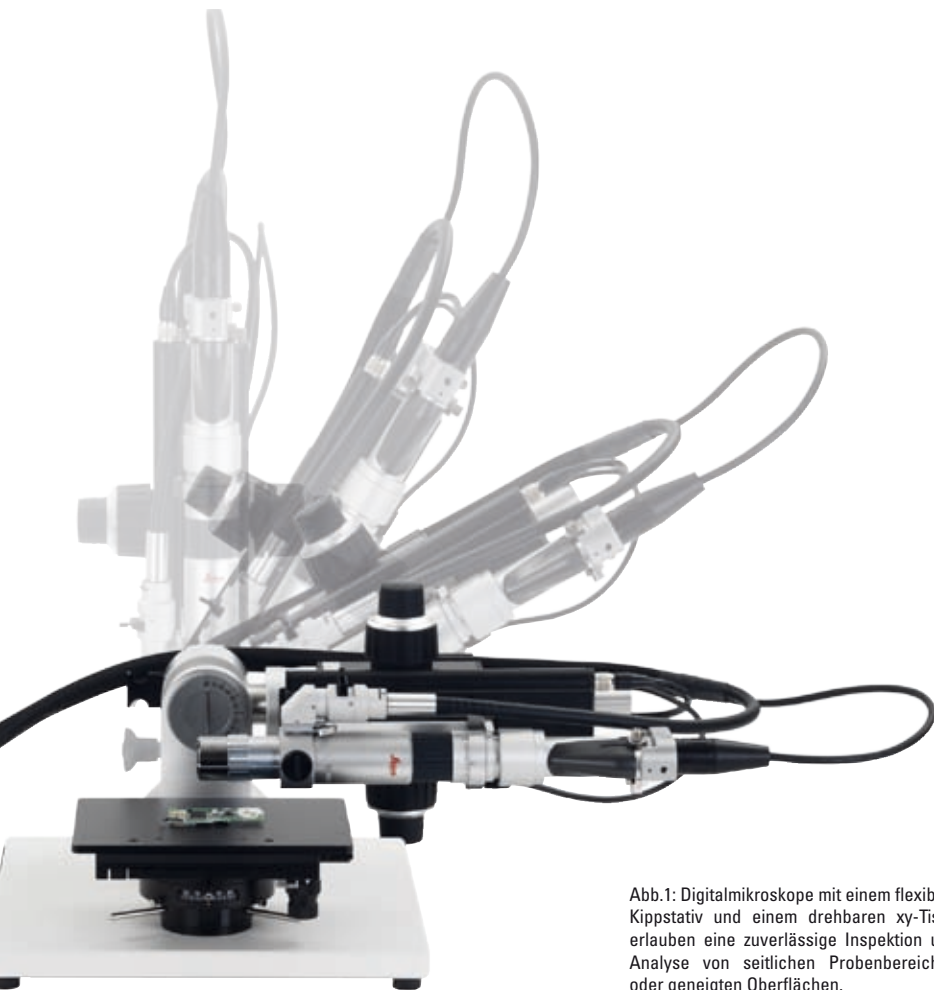


Abb.1: Digitalmikroskope mit einem flexiblen Kippstativ und einem drehbaren xy-Tisch erlauben eine zuverlässige Inspektion und Analyse von seitlichen Probenbereichen oder geeigneten Oberflächen.

Für eine Vielzahl von industriellen Qualitätsprüfungen bietet die Digitalmikroskopie eindeutige Vorteile, insbesondere für Oberflächenanalysen. Bruchanalysen, Analysen von geneigten oder vertikalen Oberflächen oder Vor-Ort-Inspektionen von großen Bauteilen wie Turbinenrotoren sind nur Beispiele dafür, wo Digitalmikroskope ihre Stärken voll ausspielen. Doch es gibt auch Anwendungen, wo eine traditionelle Lösung mit Stereo- oder Lichtmikroskopen sinnvoller und kostengünstiger ist. Qualifizierte Beratung und umfassendes Anwendungswissen sind deshalb entscheidende Voraussetzungen, die passende Lösung zu wählen. Aber was sind nun die Schlüsselkriterien für einen erfolgreichen Einsatz von Digitalmikroskopen, und wie unterscheidet sich die digitale Mikroskopie von klassischen Ansätzen?

Was ist ein digitales Mikroskop?

In erster Linie verzichtet ein digitales Mikroskop vollständig auf das Betrachten durch ein Okular. Die Probe wird direkt auf dem Bildschirm dargestellt. Der Anwender kann so die Probe in einem Arbeitsgang über die Software betrachten und auswerten – und das bei einer angenehmen, entspannten Sitzposition. Die einzelnen Komponenten eines Digitalmikroskops richten sich nach der jeweiligen Anwendung: Zoom-Optiken für niedrige bis sehr hohe Vergrößerungen, Stative, Verschiebetische etc. Ein digitales Mikroskopsystem sollte modular aufgebaut sein, damit es optimal auf seinen Einsatzbereich abgestimmt werden kann und sich an veränderte Rahmenbedingungen flexibel und schnell anpassen lässt. Um Anwendern einen echten Mehrwert gegenüber klassischen Aufbauten zu

bieten, muss ein Digitalmikroskop folgende fünf technologische Anforderungen erfüllen:

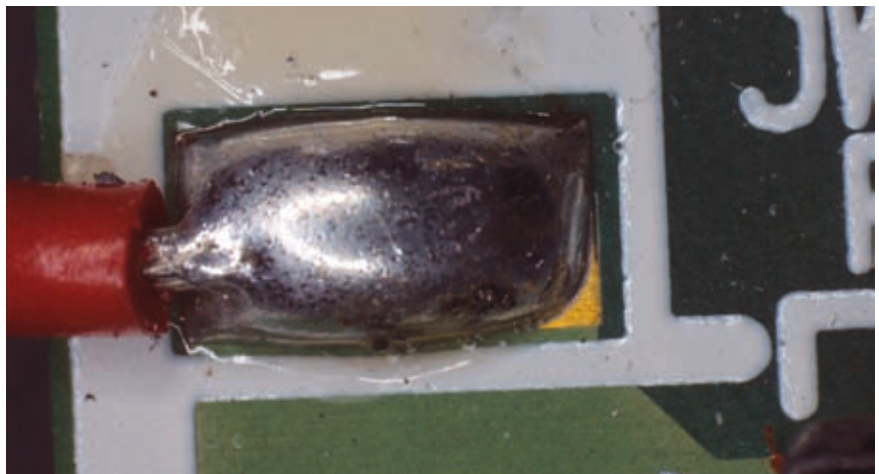
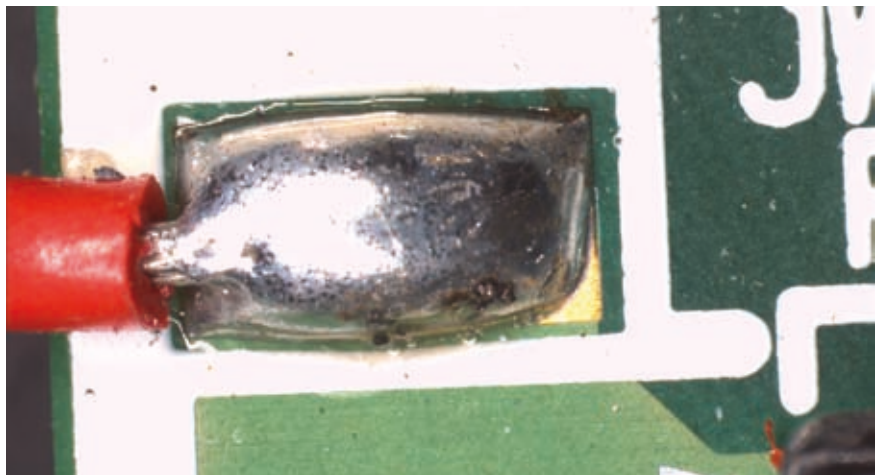
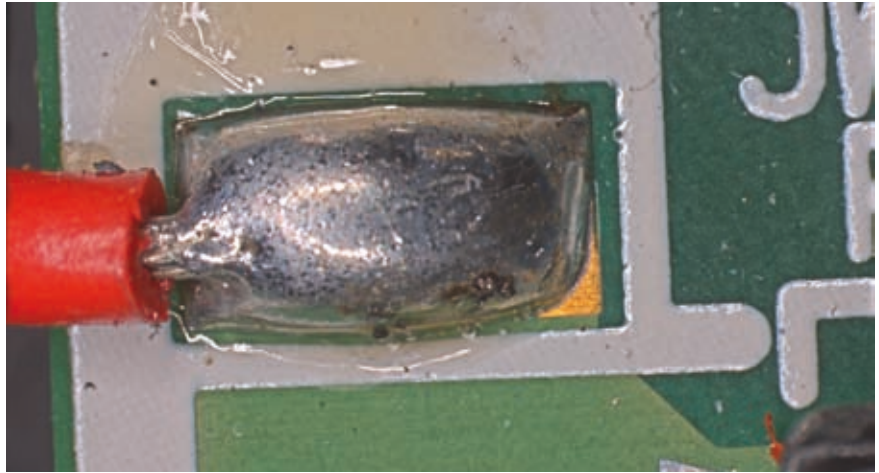
1. Optimierte digitale Bildgebung
2. Dynamische Betrachtung von Prozessen oder Objekten
3. Qualitative und quantitative Auswertungen der Probe
4. Darstellung und Auswertung von Proben mit hohem Dynamikbereich
5. Schlanke Optiken zur flexiblen Ausrichtung auf die Probe und für den mobilen Einsatz

Optimierte digitale Bildgebung

Typische Digitalmikroskope sind mit einer 2,11-Megapixel-CCD-Kamera ausgestattet, die perfekt auf die hochauflösenden Optiken abgestimmt ist. Die Kamera liefert die bestmögliche Informationsausbeute, ohne dass die Datenmenge einzelner Bilder zu groß wird. Digitalkameras werden jedoch gerne anhand ihrer Megapixelzahl beurteilt. Viele glauben, je mehr Pixel, desto besser. Doch in der Mikroskopie ist die Kamera mit den meisten Megapixel nicht unbedingt die beste. Hier bestimmen Anwendung und optische Leistung des Mikroskops, welche Kamera die geeignete ist, um optimale Ergebnisse bei der Bildaufnahme zu erzielen. Der US-amerikanische Forscher Harry Nyquist hat bereits lange vor dem Siegeszug der digitalen Fotografie nachgewiesen, dass Kameras im zweistelligen Megapixelbereich nicht mehr Bildinformationen liefern, sondern nur die Hardware schneller mit nutzlosen Daten füllen.

Als Maß für die Auflösung im digitalisierten Bild dient die maximale Anzahl von schwarz-weißen Linienpaaren, die noch scharf abgebildet werden. Die Faustformel zur Berechnung der Linienpaare pro Millimeter bei Mikroskopen lautet $3000 \times \text{NA}$ (numerische Apertur). Diese Zahl wird durch den Abbildungsmaßstab des Objekts auf den Kamerasensor geteilt. Dies ergibt, wie viele Linienpaare pro Millimeter der Kamerasensor tatsächlich erfasst. Daraus ergibt sich, dass bei hohen Vergrößerungen eine Kamera mit beispielsweise 12 Megapixel keinen Mehrwert bringt. Das Auflösungsvermögen einer solchen Kamera liegt dann höher als die Auflösung des optischen Systems. Es würde zwar ein größeres, aber kein besseres Bild entstehen. Es werden keine zusätzlichen Detailinformationen aufgelöst, lediglich die Datenmenge nimmt zu.

Da ein Digitalmikroskop auf Okulare verzichtet, muss es in der Lage sein, das Live-Bild mit einer möglichst hohen Bildwiederholrate auf dem Monitor darzustellen. Ideal ist eine Wiederholrate von mindestens 15 Bildern pro Sekunde, die auch dann ein angenehmes Betrachten der Probe gewährleistet, wenn der Objektisch in



xy-Richtung verschoben wird. Die schnellere Bildverarbeitung bietet gleichzeitig einen weiteren Vorteil während eines Experiments: Der Bildeinzug wird beschleunigt, was die Bearbeitungszeit der Probe insgesamt verkürzt.

Auch der Beleuchtung kommt eine besondere Bedeutung zu, wenn auf die Betrachtung durch ein Okular verzichtet wird. Die Lichtquelle sollte möglichst energiereich und langlebig sein. Sie sollte eine

Abb. 2: Mit High-Dynamic-Range werden alle Details einer Lötstelle sichtbar (oben). Bei langer Belichtungszeit werden dunkle Stellen besser sichtbar (Mitte), bei kurzer Belichtungszeit werden helle Stellen besser sichtbar (unten).

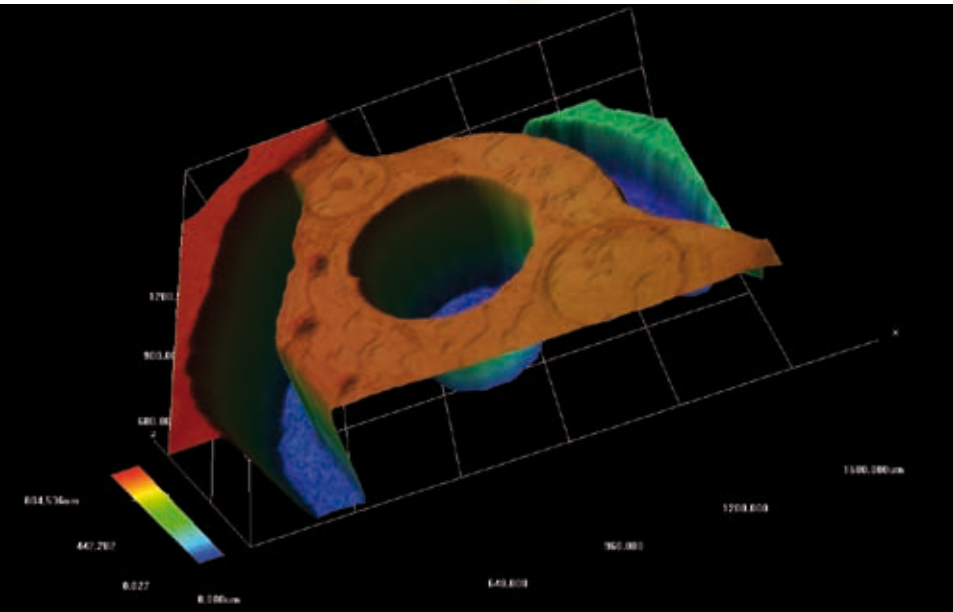


Abb. 3: 3D-Modell eines Kunststoffbauteils, dargestellt in Falschfarben



Abb. 4: HDR-Aufnahme eines elektronischen Bauteils

tageslichtähnliche Farbtemperatur haben, um eine möglichst realistische Aufnahme der Probe zu gewährleisten. Metalldampflampen erfüllen diese Anforderung auf ideale Weise. Neuerdings werden auch LED-basierte Systeme angeboten, die vor allem durch ihre Langlebigkeit und Wartungsfreiheit überzeugen.

Dynamische Betrachtung von Prozessen oder Objekten

Zoom-Systeme haben im Vergleich zu herkömmlichen Stereomikroskopen den Nachteil, dass die räumliche Darstellung verloren geht. Dies kann bei einem

Digitalmikroskop durch ein pfiffiges Zubehör mehr als kompensiert werden. Mit einem 360°-Drehkopf kann der Anwender seine Probe rundum betrachten und diese Panorama-Ansicht auch als Video aufnehmen. Dadurch eröffnen sich im wahrsten Sinne des Wortes ganz neue Perspektiven und Betrachtungsmöglichkeiten. Die 360°-Drehung verdeutlicht auch die Dreidimensionalität der Probe. Zur Dokumentation von dynamischen Prozessen sollte das Standardsoftware-Paket auch Zeitreihen-Aufnahmen umfassen.

Qualitative und quantitative Auswertung der Probe

Eine der wichtigsten Stärken der Digitalmikroskopie ist die schnelle Erstellung und Auswertung von 3D-Oberflächenmodellen. Mit Hilfe des motorisierten Fokustriebs wird in z-Richtung in jeder Fokusebene ein Bild aufgenommen, anschließend in jedem einzelnen Bild und für jeden Bildpunkt die Schärfe bestimmt. Der Punkt mit der besten Schärfe bestimmt die scharf abgebildete Textur. Daraus wird ein optimiertes 3D-Modell errechnet. Zusätzlich lässt sich aus den Informationen, aus welcher Entfernung die scharfen Punkte aufgenommen wurden, ein Höhenprofil erstellen.

Dieses Verfahren ist vielseitig und kann sowohl bei niedrigen Vergrößerungen (Makro-Objektiv) als auch bei hohen Vergrößerungen (Hochleistungsobjektiv mit 7000x) eingesetzt werden. Die Topografie einer Oberfläche lässt sich damit präzise messen. Neben 3D-Profilen können Rauigkeiten, Geometrien und Volumina bestimmt werden.

Um nicht nur genaue, sondern auch zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, sollten Digitalmikroskope mit einem elektronisch codierten Zoom ausgestattet sein. Damit wird dem digitalen Bild während der Aufnahme automatisch die richtige Kalibrierung zugewiesen. Fehlerhafte Bildwerte sind eine häufige Fehlerquelle bei herkömmlichen Systemen.

Darstellung und Auswertung einer Probe mit hohem Dynamikbereich

Die meisten digitalen Mikroskopkameras nutzen die 16-Bit-Einzelfarberfassung (entspricht 65.536 Farben) um den gesamten Dynamikbereich des Bildes auszuschöpfen. Die meisten Computermonitore und Drucker können allerdings nur 8 Bit pro Kanal darstellen, was 256 Helligkeitsstufen entspricht. Damit werden nicht immer alle natürlichen Helligkeitsunterschiede wiedergegeben, die unser Auge unterscheiden kann.

Sollen Bilder mit hohem Dynamikumfang erfasst werden, wird das so genannte High-Dynamic-Range-Verfahren (HDR) angewendet. Diese Hochkontrastbilder erfassen die natürlichen Helligkeitsunterschiede in ihrer Gesamtheit. Die Pixelwerte sind dabei proportional zur tatsächlichen Leuchtdichte. Auch wenn HDR-Bilder an den nach wie vor geringeren Helligkeitsumfang fast

aller Bildschirme wieder angepasst werden müssen, bieten HDR-Bilder dennoch Vorteile. Gerade in sehr dunklen und hellen Bereichen bleiben die Details auf dem Monitor sichtbar.

Schlanke Optiken für den flexiblen und mobilen Einsatz

Wenn es darum geht, kleinste Strukturen ausschließlich an geneigten oder vertikalen Probenoberflächen zu untersuchen, stoßen konventionelle Mikroskope an ihre Grenzen. Nur mit abenteuerlichen Konstruktionen wird beispielsweise die seitliche Betrachtung einer Lötstelle auf einer großen Leiterplatte möglich. Für die Digitalmikroskope sind bisher unmöglich erreichbare Probenbereiche kein Problem.

Ein flexibles Kippstativ kombiniert mit dem drehbaren xy-Tisch erlauben hier eine zuverlässige Inspektion und Analyse in nahezu jeder Position. Doch es gibt Produkte, die können weder transportiert werden, noch eine Probenentnahme zulassen. Für moderne, tragbare Digitalmikroskope ist eine zerstörungsfreie Inspektion auch an ortsgebundenen Objekten kein Problem. Natürlich bieten mobile Digitalmikroskope auch dort Vorteile, wo eine Qualitätssicherung an mehreren Standorten durchgeführt werden muss.

Fazit

Digitalmikroskope bieten vor allem dann eine Alternative zur klassischen Mikroskopie, wenn häufig schwierig zu dokumentierende Proben untersucht werden, müssen oder schnelle 3D-Oberflächenquantifizierung gefragt ist. Stehen jedoch optische Brillanz und die Vielfalt der Kontrastierungsverfahren im Vordergrund, sind Stereo- oder Lichtmikroskope überlegen. Der Investition in ein neues Gerät sollte deshalb immer eine sorgfältige Evaluation und eine umfassende und objektive Beratung über die Alternativen vorausgehen.

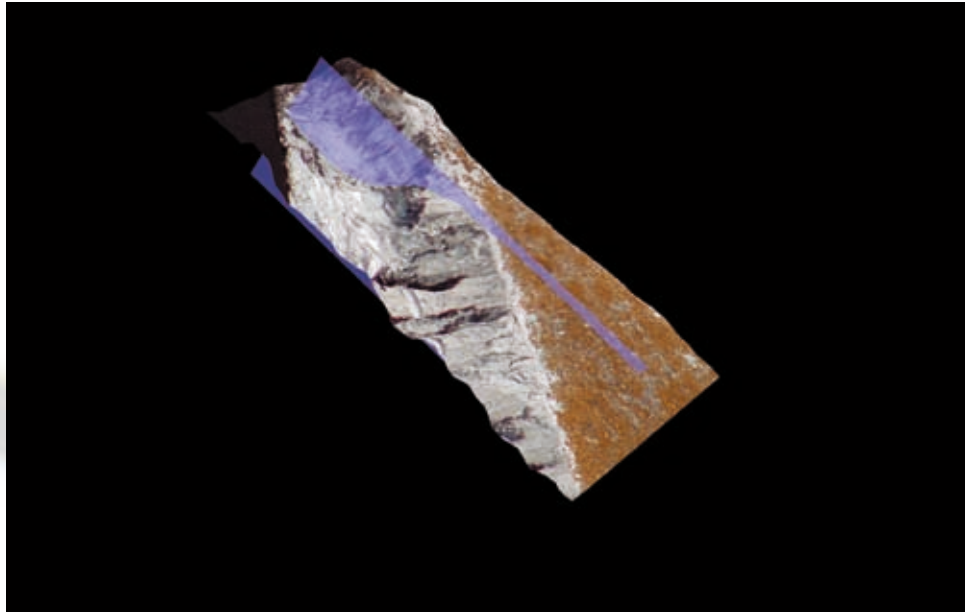


Abb. 5: Bestimmung der Abnutzung auf einer Hartmetallwendeplatte

3D-Messmikroskop kombiniert Konfokal- und Interferometrietechnik

Technologiehochzeit

In den letzten Jahren herrschte im Markt für berührungslose Oberflächenmetrologie ein harter Wettbewerb zwischen Interferometern und optischen Profilometern auf konfokaler Basis. Dabei lassen sich mit beiden Technologien Oberflächentopografien im Bereich von Nanometern bis hin zu mehreren Millimetern präzise und zuverlässig messen. Leica Microsystems bietet nun eine Komplettlösung an, die Konfokal- und Interferometrieverfahren kombiniert: Das Leica DCM Dual-Core 3D-Messmikroskop. Als kompakte und robuste Komplettlösung ist das Leica DCM 3D optimal für superschnelle, kontaktfreie Bewertungen der Mikro- und Nanogeometrie von Werkstoffoberflächen. Es eignet sich für vielfältige Messanwendungen in F&E- und Qualitätssicherungslabors bis hin zu automatisierten Online-Prozesskontrollen, wo hohe Geschwindigkeiten und Auflösungen bis 0,1 Nanometer erforderlich sind.

Abb. 1: Das Dual-Core 3D-Messmikroskop Leica DCM 3D



Zwei High-End-Technologien ergänzen sich

Das Dual-Core 3D Messmikroskop Leica DCM 3D kombiniert Konfokalmikroskopie und Interferometrie in einem einzigen Sensorkopf. Die Kerntechnologie basiert auf einem schnell reagierenden Mikrodisplay, das in der Leuchtfeldblende positioniert ist. Über das Mikrodisplay können Hellfeld-, Interferometrie- und Konfokalbilder erzeugt werden. Die Kombination aus konfokalem Mikrodisplay (MD), zwei Lichtquellen und zwei Kameras erzeugt hochpräzise 3D-Messungen und unbegrenzte Tiefenschärfe. Das MD-Konzept, das ohne mechanisch bewegliche Komponenten auskommt, und die langlebigen LED-Lichtquellen sorgen dafür, dass das System nahezu wartungsfrei ist.

Die konfokale MD-Technologie misst glatte sowie raue Oberflächen, Höhenunterschiede von wenigen Nanometern bis zu mehreren Millimetern und Flanken bis zu 70°. Im Gegensatz zu Laser-Scanning- bzw. Spinning-Disk-Systemen benötigt die MD-Konfokaltechnik keine mechanisch beweglichen Komponenten, was die Bildstabilität bei hohen Vergrößerungen und die Lichtausbeute erhöht sowie Zuverlässigkeit und Flexibilität verbessert.

Oberflächenmessungen werden in Sekundenschnelle ausgeführt. Das System ist dabei sehr leicht zu bedienen: Die Probe wird einfach unter das Mikroskop gelegt und scharf gestellt. Mit einem Tastendruck wird in wenigen Sekunden – typischerweise weniger als fünf – ein 3D-Bild der Oberfläche erzeugt, das sich durchaus mit rasterelektronenmikroskopischen Bildern vergleichen lässt, aber nur ein Bruchteil der Zeit braucht.

3D-Profilometrie und unbegrenzte Tiefenschärfe

Ein gutes Beispiel für die Einsatzmöglichkeiten des Leica DCM 3D ist die Charakterisierung von behandelten Stahlflächen zur Optimierung der Haftfähigkeit von Lacken. Nach dem Schleifen ist der Stahl sehr glatt, so dass Emaillacke nicht ausreichend haften. Die Haftfähigkeit kann durch eine Säurebehandlung des Stahls verbessert werden, wodurch Mikrostrukturen/-vertiefungen entstehen. Dem Lack wird dadurch ein tieferes Eindringen in die Oberfläche ermöglicht und die Kontaktfläche zwischen Stahl und Lack wird vergrößert. Wenn die Mikrostrukturen jedoch zu tief sind, kann es passieren, dass sich

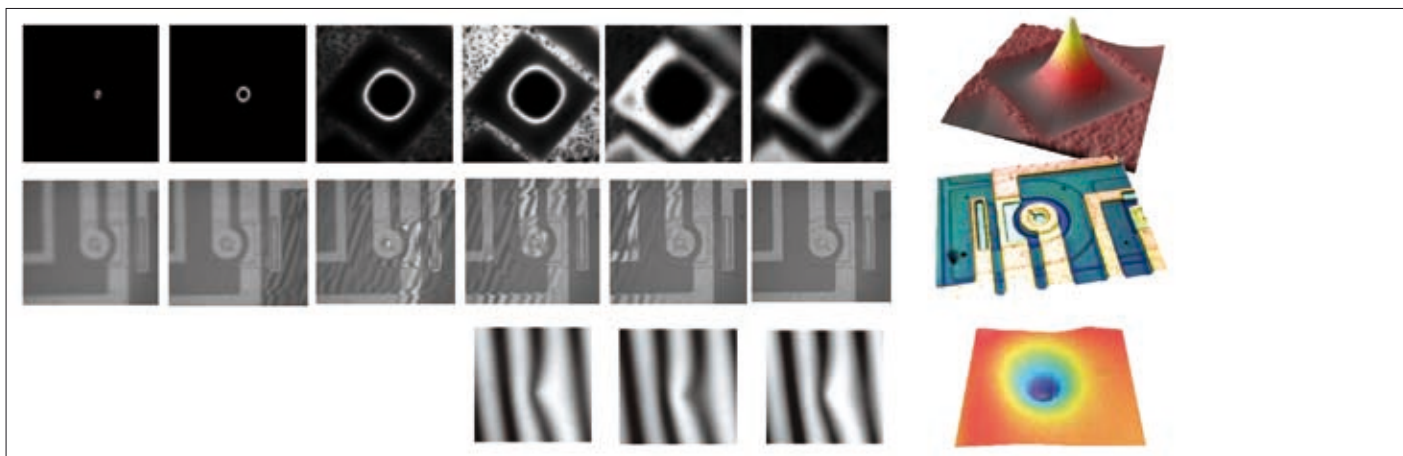


Abb. 2: Beispiele für den Einsatz der Konfokal, VSI- und PSI-Profilometrie

die Lackoberfläche den Mikrostrukturen des Stahls anpasst. Das führt zu einer verminderten optischen Qualität der lackierten Oberfläche. Der Prozess der Säurebehandlung muss so gesteuert und überwacht werden, dass gleichzeitig eine optimale Haftfähigkeit des Lacks und eine optimale optische Oberflächenqualität sichergestellt werden.

Mit dem Leica DCM 3D können nun geeignete Qualitätsparameter der Oberfläche ermittelt werden, um zu entscheiden, ob die Oberflächenbehandlung ausreicht oder nicht. Allein die Platzierung der Probe unter dem Mikroskop liefert einen guten Eindruck von der Tiefe der Mikrotäler. Im Echtzeit-Konfokalbild kann die Oberfläche fokussiert und in die Täler hinein fokussiert werden, deren Tiefe direkt ablesbar ist. Nach einem Klick auf die „Acquire“-Taste für eine 3D-Ansicht läuft der Konfokal-Scan in Sekundenschnelle ab. Über die Falschfarbendarstellung werden die Höhenverhältnisse der Mikrotäler auf dem Bildschirm sehr prägnant und präzise visualisiert. So können die Stahloberflächen schon vor der Lackierung charakterisiert werden, Ausschuss wird dadurch vermieden. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen eine solche Messung.

Zur quantitativen, normgerechten Analyse der Mikrotäler wurde die integrierte 3D-Software SensoMap verwendet. Die Zonen der oberen Strukturen und die Zonen der Täler werden von der Software automatisch segmentiert. Die Volumenverteilung der segmentierten Bereiche (Abb. 6) ist für diese Anwendung ein sehr gut geeigneter Indikator. Ein weiterer vorteilhafter Parameter ist Sdr. Dieser Parameter zeigt das Verhältnis der entstandenen räumlichen Oberfläche zur senkrechten Projektion dieser Fläche. Eine ebene Fläche hat also ein Verhältnis von 1:1, während eine Oberfläche mit Tälern eine Vergrößerung der räumlichen Fläche und damit auch dieses Wertes bewirkt. Für den Beispielfall ergab sich ein optimaler Wert von 1:1,33, also eine Vergrößerung der effektiven Fläche um 33%.

Überlegene Profiling-Technologie

Ein weiterer Vorteil des Leica DCM 3D sind die beiden integrierten CCD-Kameras, eine Farbkamera für Hellfeld-Analysen sowie eine hochwertige monochromatische Kamera für die metrologische Detektion. Während der 3D-Messung werden ein hochauflösendes und kontrastreiches Konfokalbild sowie ein unbegrenzt scharfes Farbbild gleichzeitig erfasst. Die Software erlaubt eine 3D-Abbildung der Fläche in unterschiedlichen Farbmodi wie zum Beispiel Falschfarbendarstellung der Höheninformationen, Konfokal-Stapel, unbegrenzt scharfes Farbbild und hoch auflösende Konfokalluminanz mit dem Chrominanzsignal der Farbkamera.

Ein Hauptvorteil der Konfokaltechnik für die 3D-Profilometrie ist ihre Flexibilität. Sie kann Standard-Mikroskopobjektive verwenden, die auch für die Hellfeldmikroskopie eingesetzt werden und die häufig bereits verfügbar sind. Für das Leica DCM 3D eignen sich beispielsweise Objektive mit einem großem Arbeitsabstand (für Proben mit großen Höhenunterschieden oder für Probengeometrien), Objektive mit verstellbarer Korrektur, die für eine Fokussierung durch Deckgläser konzipiert wurden sowie Objektive für die LCD-Untersuchung oder Wasserimmersionsobjektive. Allerdings ist hierbei die Tiefenschärfe und damit die Auflösung der Höhenstruktur durch die numerische Apertur des Objektivs begrenzt. Schwach vergrößernde Objektive haben eine niedrigere numerische Apertur, und konventionelle Konfokal-3D-Messungen neigen zu stärkerem Rauschen. Durch seine innovative Kombination der Konfokal- und Interferometrie-Technik deckt das Leica DCM 3D

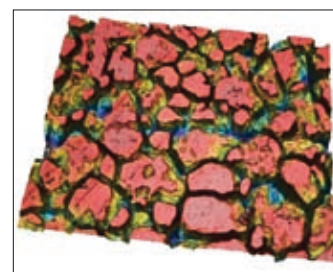


Abb. 4: Dreidimensionale Ansicht der vorbehandelten Stahloberfläche

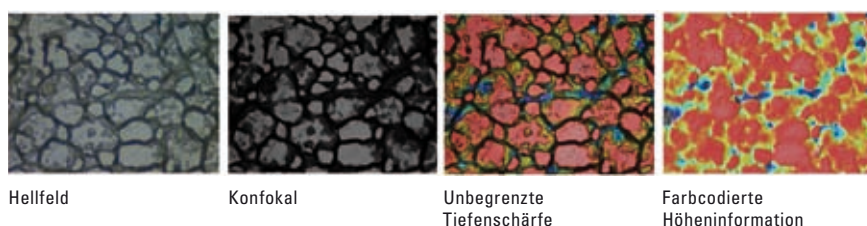


Abb. 3: Mikroskopbetriebsarten am Beispiel einer zur Lackierung vorbehandelten Stahloberfläche

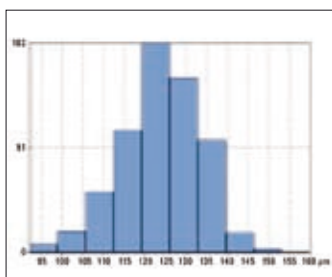
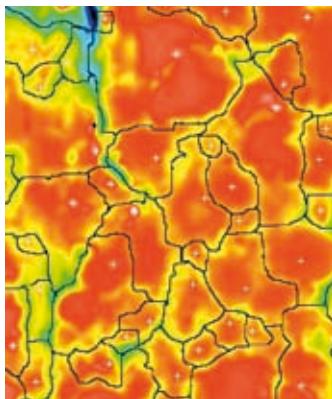


Abb. 5: Segmentierung von Mikrotälern (oben), Volumenverteilung der Mikrofragmentierungen (unten)

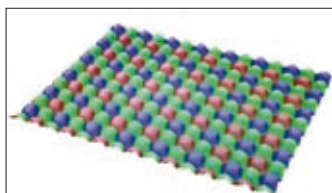


Abb. 6: Anwendungsbeispiel: 3D-Ansicht eines Bayer-Filters auf der Mikrolinsenanordnung einer CCD

den größten messbaren Bereich für Höhenstrukturen auf Oberflächen ab.

Im Vergleich zur Konfokaltechnik hängt bei der Phasen-Shift-Interferometrie (PSI) und der Vertical-Shift-Interferometrie (VSI) die Höhenauflösung nicht von der numerischen Apertur des Objektivs ab, sondern von den Eigenschaften der Lichtquelle. Trotz einer PSI-Höhenauflösung bis 0,1 Nanometer ist die maximal messbare Höhe durch optische Gesetze auf 250 Nanometer begrenzt. Durch die kombinierten Techniken des Leica DCM 3D werden dennoch Messungen von 0,1 Nanometer bis hin zu mehreren Millimetern möglich. Abbildung 8 zeigt die Messung eines 10-Nanometer-Stufenhöhen-Standards mit PSI-Technologie. Diese Technologie ist ideal, um die lackierte Oberflächen aus obigem Beispiel zu charakterisieren und zu beurteilen.

Leica Interferometrie-Objektive und Hochleistungs-Analysesoftware

Für das Leica DCM 3D kann die ganze Palette der Leica Interferometrie-Objektive (5x, 10x, 20x und 50x) verwendet werden, sowohl für PSI also auch für VSI.

Ein spezielles „Tip/Tilt“-System (Verkipfung quer zur optischen Achse) ist in jedem Objektiv integriert. Dies ermöglicht ein wesentlich schnelleres und leichteres Ausrichten der Probenoberfläche auf die optische Achse und einen optimalen Kontrast der Interferenzstreifen. Zusätzlich verfügt jedes Objektiv über ein Einstellrad mit vier Positionen, um die Lichtmenge zu variieren. Dadurch können selbst Proben mit unterschiedlichster Reflektivität analysiert werden, was die Flexibilität des ganzen Systems zusätzlich verbessert.

Das Leica DCM 3D wird von der bewährten Software SensoScan gesteuert. Dieses erlaubt die Durchführung mehrerer 2D/3D-Messungen. Zusätzlich ist das System kompatibel mit SensoMap, einer der fortschrittlichsten 3D-Softwarelösungen für die mikroskopische Oberflächenanalyse. Für automatische 2D-Analysen kann das Leica DCM 3D auch mit den bewährten Leica Bildanalysemusername Leica Application Suite, Leica QWin und Leica Material Workstation ausgestattet werden.

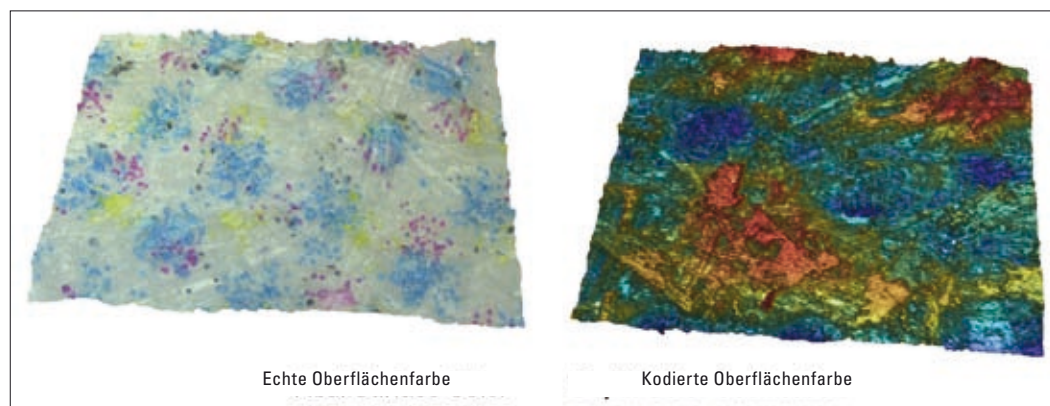


Abb. 7: Anwendungsbeispiel: Papierteil nach Drucken mit dem Ink-Jet-Verfahren. Links: 3D-Darstellung im Hellfeld. Rechts: die gleiche 3D-Ansicht mit Falschfarbendarstellung der Höhenverhältnisse.

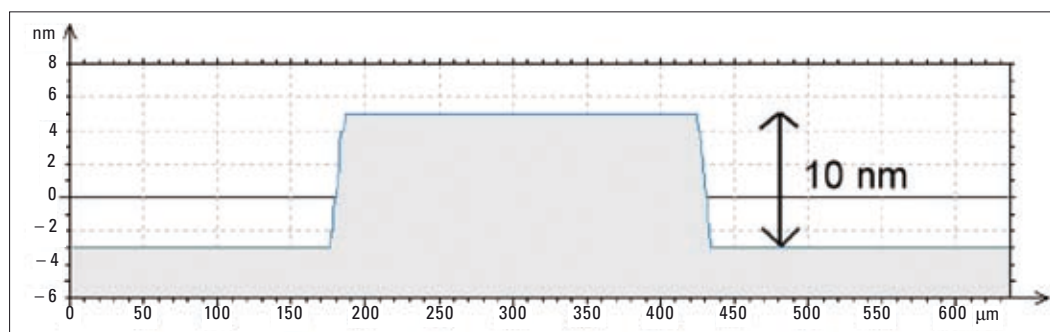


Abb. 8: Mit PSI-Technik gemessener Stufenhöhen-Standard von 10 nm, eine Genauigkeit, die mit konventioneller Konfokaltechnik nicht möglich ist.

Charakterisierung von Solarzellen

Nanometergenau und sekundenschnell

Solarenergie gewinnt weltweit immer mehr an Bedeutung. Sie ist nicht nur unbegrenzt verfügbar, sondern auch unter Umwelt- und Klimaschutzaspekten vorteilhaft. Für neue Photovoltaik-Anlagen werden weltweit jedes Jahr viele Tausend Solarzellen produziert. Bei der Qualitätssicherung ist die nanometergenaue 3D-Charakterisierung der lichtabsorbierenden Oberfläche ein wichtiges Kriterium. Bisher mussten dazu aufwändige REM-Analysen durchgeführt werden. Das Dual-Core 3D-Messmikroskop Leica DMC 3D analysiert die Oberflächentextur von Solarzellen kontaktfrei, hoch präzise und sekundenschnell.

Monokristallines und polykristallines Silizium

hergestellt werden und sind preiswerter als monokristalline Zellen.

Das am häufigsten eingesetzte Grundmaterial für Solarzellen ist Silizium. In der großtechnischen Solarenergieerzeugung haben die so genannten Dickschichtzellen den größten Anteil, wobei zwischen monokristallinen und polykristallinen Zellen unterschieden wird. Monokristalline Zellen werden aus einkristallinen Siliziumwafern hergestellt, wie sie auch für die Halbleiterherstellung verwendet werden. Polykristalline Zellen bestehen aus Scheiben, die nicht überall die gleiche Kristallorientierung aufweisen. Sie können unter anderem durch Gießverfahren

Die Effizienz der Solarzelle ist abhängig von der Siliziumdotierung, der Leuchtdichte und dem genutzten Lichtwellenlängenbereich, der optischen Dicke und der Oberflächentextur. Aktuell liegt die Energieeffizienz einer Solarzelle bei etwa 20 Prozent. Durch spezielle, aber sehr teure Oberflächenbehandlungen kann die Solarzelle mehr Licht einfangen, und die Effizienz sich damit auf bis zu 50 Prozent steigern. Insbesondere für die Raumfahrt sind Solarzellen mit maximaler Effizienz wichtig.

Oberflächentextur erhöht Energieeffizienz

Um die Zelleffizienz zu steigern, wurden zahlreiche Verfahren geprüft, zum Beispiel Lichtfokussierung mit Fresnel-Linsen, Solarkonzentratoren oder Anti-reflexionsbeschichtungen. Die effektivste Methode zur Erhöhung der Lichtabsorption stellt die Erhöhung der effektiven Dicke der Siliziumschicht dar. Diese Methode, die als Oberflächentexturierung bezeichnet wird, ist in hohem Maße von der Art des Siliziums abhängig. Die Texturierung von monokristallinem Silizium erfolgt durch einen anisotropen Nass-Ätzprozess auf der Grundlage einer Natriumhydroxidlösung. Dabei wird die kristallografische Siliziumfläche {111} langsam geätzt. Das Ergebnis sind willkürlich gewachsene, quadratische Pyramiden mit gleichen Pyramidenwinkeln. Die Qualität der Oberfläche und die Anzahl der Pyramiden werden durch Temperatur und Zusammensetzung der Ätzlösung bestimmt. Diese Oberflächentextur weist eine sehr effektive Lichtabsorption auf und fördert somit die interne Lichtreflexion.

Im Vergleich dazu ist die Texturierung bei polykristallinem Silizium nicht ganz so effektiv, da ein Großteil

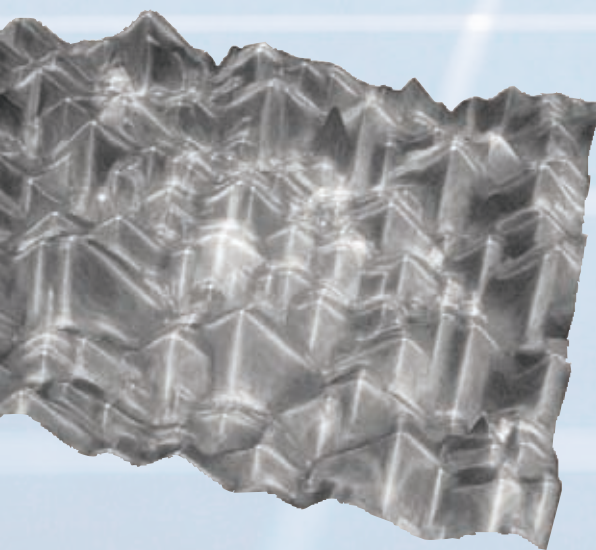


Abb. 1: Monokristalline Siliziumoberfläche nach dem kristallografischen Nassätzen {111}. Die pyramidenförmige Oberflächentextur erhöht die Lichtabsorption bis um das 50fache und führt somit zu einer Steigerung der Zelleffizienz.

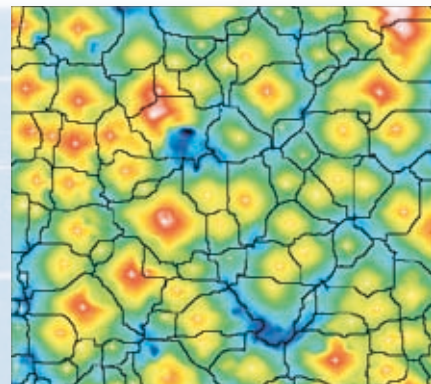


Abb. 2: Automatische Segmentierung durch den intelligenten, auf Wasserscheiden-Segmentierung basierenden Algorithmus in einzelnen Pyramiden.

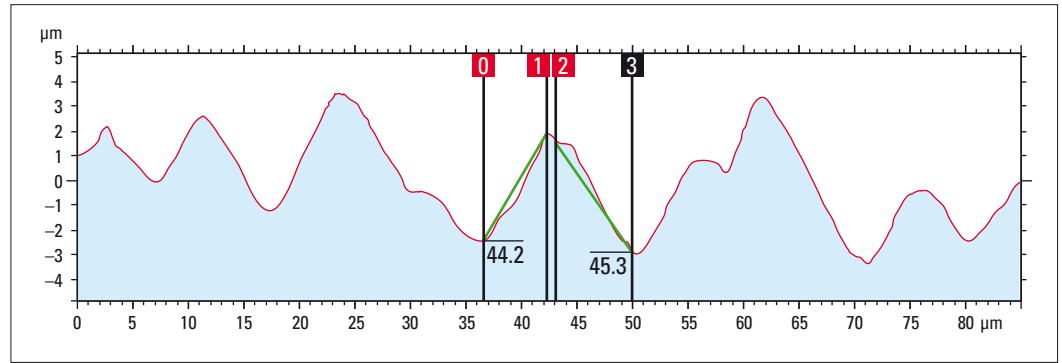


Abb. 3: Profilschnitt der Pyramiden auf einer monokristallinen Siliziumoberfläche

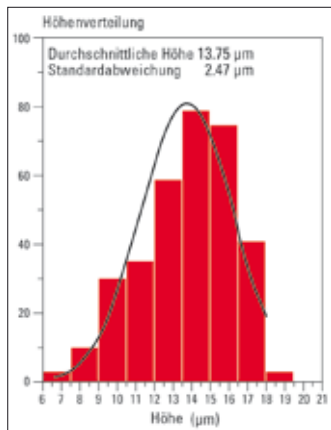


Abb. 4: Über die statistische Höhenverteilung in der Segmentierung lassen sich Oberflächenstrukturen charakterisieren.

der Körner eine nicht geeignete Ausrichtung aufweist. Die Körner ätzen dadurch unterschiedlich schnell, wodurch sich an den Körnergrenzen Sprünge herausbilden können, die wiederum Schwierigkeiten beim nachfolgenden Bedrucken mit den Lötzonen und der Kontaktierstruktur verursachen.

3D-Oberflächenmessung innerhalb von Sekunden

Bei der Qualitätskontrolle der Solarzellen am Ende der Fertigungskette wird die Effizienz jeder einzelnen Zelle in einem 1.5G-Luftmassen-Solarsimulator geprüft. Das optische Imaging-Profilometer Leica DCM 3D mit Dual-Core-Technologie bietet hierbei die Möglichkeit, innerhalb weniger Sekunden die Texturierung, die Rauheit, die statistische Pyramidencharakterisierung und die Metallkontakte einer Siliziumoberfläche zu prüfen.

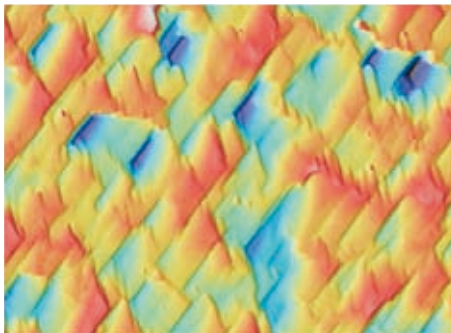
Im Gegensatz zum zeitaufwändigen Einsatz eines Rasterelektronenmikroskops wird der Wafer einfach unter das Leica DCM 3D gelegt und innerhalb von weniger als 10 Sekunden eine 3D-Messung vorgenommen. Die starke lokale Neigung der Pyramidenflächen erfordert die Verwendung von Objektiven mit hoher Numerischer Apertur, die wiederum nur in der Konfokaltechnologie verfügbar sind.

Abbildung 2 zeigt eine 3D-Messung eines monokristallinen Siliziumwafers nach dem Pyramiden-Ätzen. Für eine derartige 3D-Messung wurde ein 150x Objektiv mit einer numerischen Apertur von 0,95 verwendet. Dadurch reduzierte sich das Sichtfeld auf einige zehntel Mikrometer, was etwa dem Sichtfeld eines REM entspricht. Die Oberfläche wird einige Mikrometer entlang der Fokusposition des Objektivs abgerastert; daraus ergeben sich schichtweise konfokale Bildstapel. Das Ergebnis ist ein hochauflösendes, REM-ähnliches Bild mit unbegrenztem Fokus und präzisen 3D-Informationen zur Höhe der Pyramiden.

Zur statistischen Charakterisierung der Pyramiden wird die sogenannte Wasserscheiden-Segmentierung (Watershed Segmentation) verwendet. Über diesen Algorithmus wird jede einzelne Pyramide mit Hilfe der Höhenangabe in Segmente unterteilt und anschließend für jedes einzelne Segment die Fläche, das Volumen, die durchschnittliche und die maximale Höhe berechnet. In Abbildung 3 zeigt ein Profilschnitt die Charakterisierung einer einzelnen Pyramide mit Höhe, Grundfläche und Neigungswinkel der Seitenflächen.

Abb. 5: Typische Oberflächenparameter (z. B. Rauigkeit) der Oberflächen von monokristallinem und polykristallinem Silizium im Vergleich

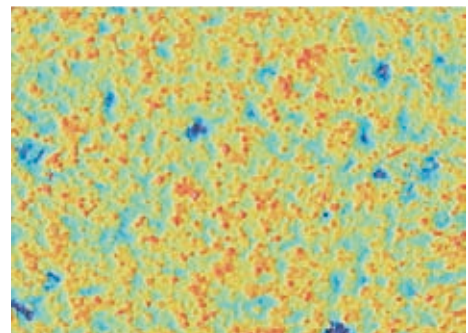
Polykristalline Oberfläche



Sa: 0,41899 µm
Sq: 0,53585 µm
St: 4,10607 µm

Arithmetische mittlere Abweichung der Oberflächenrauheit
Quadratische Abweichung der Oberflächenrauheit
Gesamthöhe des Oberflächenprofils

Monokristalline Oberfläche



Sa: 0,68357 µm
Sq: 0,89719 µm
St: 9,41100 µm

Inspektion mikrooptischer Komponenten

Kein Fehler bleibt unentdeckt

Mikrooptische Komponenten werden in zahlreichen Produkten eingesetzt, die mit Beleuchtung oder Bildgebung zu tun haben. Die Qualitätssicherung dieser Bauteile ist anspruchsvoll, da die Prüfung sehr präzise, aber dabei kontaktfrei erfolgen muss. Das 3D-Messmikroskop Leica DCM 3D mit Konfokal- und Interferometrie-Technologie bietet alle Eigenschaften, um diese Komponenten mit oft schwierig zu untersuchenden polierten und gekrümmten Oberflächen nanometergenau und in Sekundenschnelle zu charakterisieren.

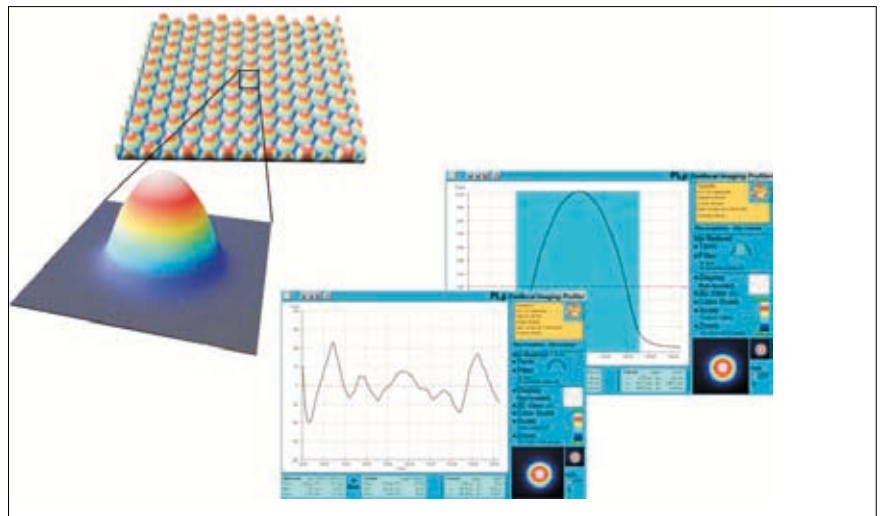
Mikrooptische Komponenten werden in vielen Bereichen eingesetzt. Ein Beispiel: Beamer. Vor dem LCD-Display des Beamers befindet sich ein Mikrolinsen-Array, so dass vor jedem Pixel des Displays eine Mikrolinse wirkt. Dies ermöglicht den Einsatz kostengünstiger Lampen einschließlich Halbleiterlichtquellen wie z. B. LEDs. Ein weiteres Beispiel sind Fresnel-Linsen zur Bündelung des Lichts von leistungsstarken Weißlicht-LEDs. Die daraus resultierende, sehr kleine und kompakte Bauweise weist eine hohe Lichtausbeute, einen hohen Lichtdurchsatz und einen geringen Energieverbrauch auf. Diese Weißlicht-LEDs sind daher idealer Blitzlichtersatz in digitalen Fotokameras.

Mikrooptiken helfen auch, die Abbildungsleistungen von Endoskopen für biomedizinische Anwendung zu verbessern oder unterstützen die Realisierung von LOC-Systemen (Lab-on-Chip) für den Vergleich von Gewebeproben oder chemischen Substanzen. Für die Bündelung von Licht in mikroskopischen Wellenleitern, für optische Koppler (z. B. VCSEL) und in den unter dem Begriff MOEMs bekannten Mikrosystemen sind Mikrolinsen heute unverzichtbar.

Lithografieren, Ausschmelzen oder Replizieren

Die Technologie zur Herstellung mikrooptischer Komponenten hängt von dem spezifischen Verwendungszweck, der geforderten Oberflächenqualität, der gewünschten Zuverlässigkeit und den Zielkosten für diese Komponenten ab. Die drei gängigsten Verfahren sind der lithografische Herstellungsprozess, das Aufschmelzverfahren und die Replikation.

Die lithografische Methode wurde ursprünglich in der Mikroelektronik für die Erzeugung von strukturierten Belägen oder Oberflächenprofilen entwickelt. Dabei werden mit einem Laser oder Elektronenstrahl, der



als Schreibstift eingesetzt wird, räumliche Muster in einer photoresistenten Schicht erzeugt, die dann nach deren Entwicklung durch einen reaktiven Ionen-Prozess auf das Substrat aufgebracht werden. Dieses lithografische Verfahren eignet sich für Lichtwellenleiterstrukturen, mikrooptische Free-Space-Elemente und diffraktive optische Elemente.

Das Aufschmelzverfahren wird zur Herstellung refraktiver Komponenten eingesetzt. Das Verfahren liefert hochwertige Ergebnisse und besticht durch die Einfachheit des Prozesses. In einem herkömmlichen lithografischen Verfahren werden kleine Zylinder hergestellt. Auf Grund der beim Schmelzen auftretenden Oberflächenspannung entstehen kleine, qualitativ sehr hochwertige Plankonvexlinsen.

Die Lithografie und das Aufschmelzverfahren sind extrem genaue Methoden. Angesichts des steigenden Bedarfs an Mikrolinsen setzen einige Hersteller allerdings das Replikationsverfahren ein, um

Abb. 1: Kopie eines Mikrolinsen-Arrays auf Borofloat®-Glas. Anhand einer einzelnen Linse können der Krümmungsradius eingestellt und Verformungen korrigiert werden.

höhere Stückzahlen zu erzielen. In der Regel werden mit einem hochwertigen Master durch Abformprozesse Repliken in Siliziumoxid oder Epoxidharz auf Hartglas erzeugt.

Kontaktfrei und hochpräzise Messen

Mikrooptische Komponenten stellen zwei wichtige Anforderungen an metrologische Instrumente: Diese müssen eine kontaktfreie und gleichzeitig hochpräzise Bewertung ermöglichen. Kontaktprofilometer sind nicht zerstörungsfrei, sie können jedoch unabhängig von der Reflektivität und der Flankensteilheit das Profil einer vollständigen Linse erfassen. Bei Oberflächenmerkmalen mit einem mittleren Höhenverhältnis oder bei Wellenleitern unter einer Beschichtung kommt die Weißlicht-Interferometrie zum Einsatz. Konstruktionsbedingt ist bei Interferometern allerdings die maximal messbare Flanke durch die numerische Apertur des Objektivs begrenzt, die bei einer hohen Vergrößerung in der Regel unter 0,5 liegt.

Das Dual-Core Messmikroskop Leica DCM 3D verwendet Objektive mit bis zu 0,95 NA und einer hohen Lichtausbeute; damit können Oberflächenstrukturen mit einer Wiederholbarkeit von 1 nm und mit Flanken von bis zu 70° sogar auf polierten Oberflächen gemessen werden.

Darüber hinaus kann zur Erfassung einer vollständigen Linse oder eines Linsen-Arrays das Topografie-Stitching eingesetzt werden. Ein Objektiv mit einer großen numerischen Apertur liefert in der Regel auch eine hohe Vergrößerung, wodurch das Sichtfeld auf einige hundert µm reduziert wird. Zur Vergrößerung des Sichtfelds steuert die Software des Leica DCM 3D einen motorisierten Objektisch vollautomatisch und erfasst mehrere Einzeltopografien. Abschließend erzeugt die Software wiederum automatisch eine endgültige Topografie mit einem erweiterten Sichtfeld unter Beibehaltung der ursprünglichen Eigenschaften der einzelnen Felder.

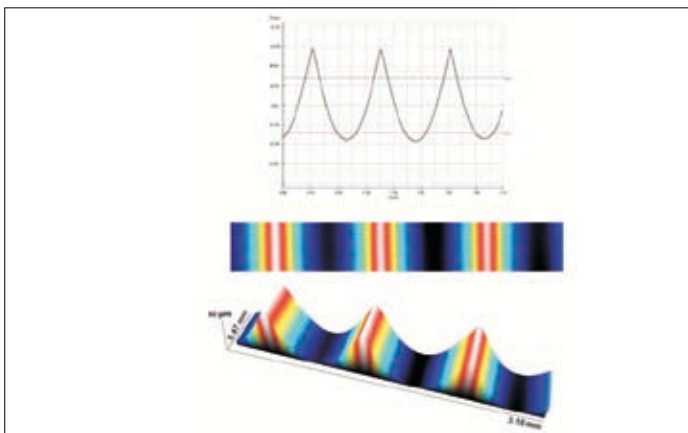


Abb. 2: Lineares Linsen-Array. Kopie eines Arrays zylindrischer Linsen auf einem Epoxidmaterial (Ionenätz-Master). Die Daten wurden mit einem 50x, 0,8NA Objektiv und mit der Topografie-Stitching-Methode erfasst. Das gesamte Sichtfeld der Probe misst 0,4 x 3,18 mm und die Oberflächenneigung beträgt stellenweise mehr als 30°, zur Darstellung der vollständigen Linsengruppe ist daher ein Topografie-Stitching erforderlich. Der Abstand zwischen den Linsen beträgt 1 mm, die Gesamthöhe ist mehr als 90 µm.

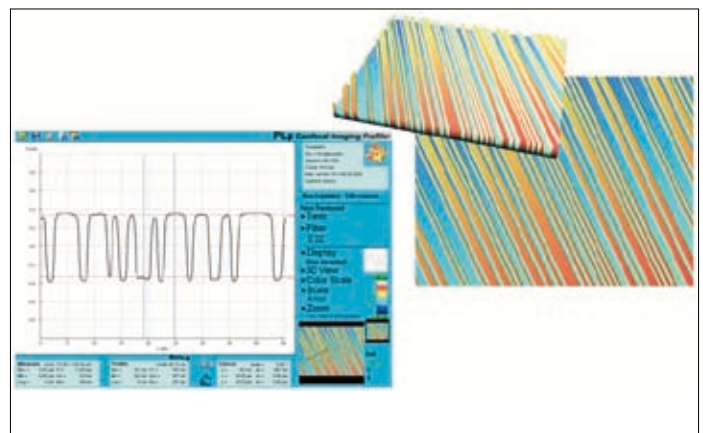


Abb. 3: Mustergenerator. Die durchschnittliche Höhe beträgt 700 nm, die Breite der Linien variiert von 1 µm bis 7 µm. Die Neigung der Wände beträgt 50°. Für diese Messung wurde ein 100x, 0,9NA Objektiv verwendet.

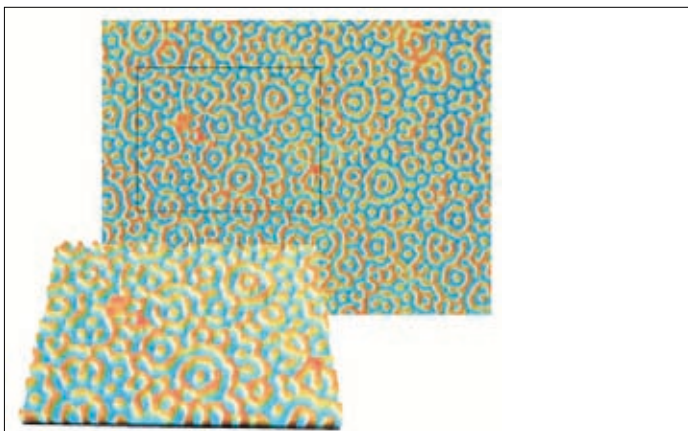


Abb. 4: Optischer Diffusor mit zufälligem Diffraktionsmuster. Messung mit einem 100x Objektiv. Durchschnittliche Höhe 700 nm.

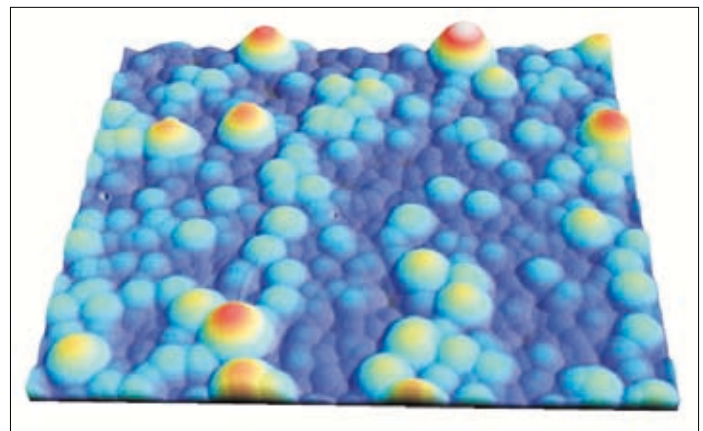


Abb. 5: Optischer Diffusor aus zufällig angeordneten Mikrolinsen auf Epoxy-Substrat. Messung mit einem 20x Objektiv bei 10 x 10 Aufnahmeefeldern. Gesamtes Sichtfeld 7 x 5 mm.

Das Stereomikroskop als 3D-Messgerät

Rechenkünstler

Ein Auge würde uns zum einfachen Sehen genügen. Aber erst mit zwei Augen können wir räumlich sehen und uns in unserer Welt zurechtfinden. Stereomikroskope funktionieren im Prinzip wie eine Verlängerung unserer Augen. Zwei getrennte Strahlengänge nehmen jeweils ein Bild von einem geringfügig anderen Winkel auf. Aus beiden Bildern kombiniert unser Gehirn ein räumliches Bild. Diese geniale Leistung des Gehirns auf die Bildaufnahme und Bildverarbeitung der Stereomikroskopie zu übertragen, schien jedoch lange unmöglich. Erst innovative Software, kombiniert mit entsprechender Kameratechnik, macht dies heute möglich.

Bisher konnte man mit Stereomikroskopen Proben zwar dreidimensional mit hoher Schärfentiefe betrachten, aber nur zweidimensionale Bilder erzeugen. Bei unzähligen Anwendungen der Stereomikroskopie wäre es von großem Vorteil, wenn auch ein 3D-Bild der Probe aufgenommen und quantitativ ausgewertet werden könnte. Diese Herausforderung beschäftigte Wissenschaftler und Ingenieure über Jahre, ohne dass eine brauchbare Lösung in Sicht war.

Leica Microsystems hat nun eine Software entwickelt, die – kombiniert mit einer speziellen Digitalkamera – konventionelle Stereomikroskope in ein 3D-Messgerät verwandelt. Mit dem einzigartigen Leica StereoExplorer und der Leica IC 3D Kamera lassen sich verschiedenste 3D-Oberflächenmessungen durchführen, beispielsweise Profil-, Rauheits-, Flächen- und sogar volumetrische Analysen. Diese Komponenten eignen sich für alle Bereiche der Wissenschaft, Industrie und Forensik, wo räumliche Tiefeninformationen zusätzliche wertvolle Ergebnisse liefern.

3D-Stereo-Rekonstruktion

Das stand-alone Software-Paket Leica StereoExplorer berechnet automatisch einen 3D-Datensatz aus zwei Stereo-Teilbildern zur Rekonstruktion, Dokumentation, Analyse und quantitativen Messung dreidimensionaler Oberflächenstrukturen. Die realistische, plastische und frei im Raum drehbare Darstellung auf dem Monitor erleichtert dem Betrachter das Erkennen von komplexen Oberflächen, und ermöglicht bessere Diagnosen. Zudem eignet sich der Leica StereoExplorer hervorragend für den Einsatz in der Aus- und Weiterbildung. Ausgezeichnete Bildqualität und hohe Detailtreue der Stereobildpaare sind eine wesentliche Voraussetzung für präzise 3D-Rekonstruktionen. Die integrierte digitale Stereokamera Leica IC 3D erzeugt ein perfektes, hochauflösendes Stereobildpaar ohne aufwändige Justierarbeit.

Um mit herkömmlichen stereoskopischen Ansätzen qualitativ gute Ergebnisse zu erzielen, ist ein präzise

abgestimmtes optisches System erforderlich. Die kombinierte Software-Kamera-Lösung von Leica Microsystems stützt sich auf diese Präzision und verwendet eine zusätzliche Gerätekalibrierung, die je nach Zoom-Stufe eine Genauigkeit von bis zu wenigen Mikrometern erzielt.

Die Software ist für das codierte Stereomikroskop Leica M165 C optimiert. Sie steuert außer der Leica IC 3D Kamera auch den motorisierten Fokus und aktualisiert die Daten auf dem Display. Diese Einstellungen können gespeichert und jederzeit wieder abgerufen werden. Dies sorgt für effizientes Arbeiten, insbesondere bei sich oft wiederholenden Experimenten, und gewährleistet reproduzierbare Ergebnisse.

Quantitative Messungen

Nach dem Erfassen der Flächeninformationen des Objektes können die 3D-Daten im Leica StereoExplorer visualisiert und analysiert werden. Alle



Abb. 1: Das optische Konzept der 3D-Bild-erfassung: Die digitale Stereokamera Leica IC 3D (1) wird zwischen dem Binokulartubus (2) und dem Optikträger eines Mikroskops der Leica M-Serie (3) integriert und macht eine hochauflösende Aufnahme jedes optischen Strahlenganges.

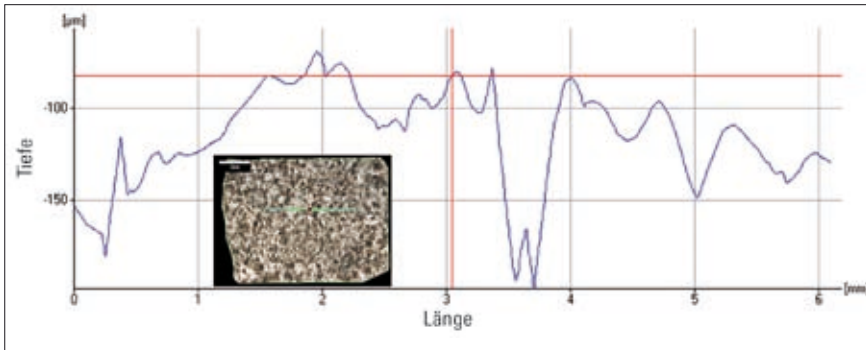


Abb. 2: Profil einer geologischen Probe

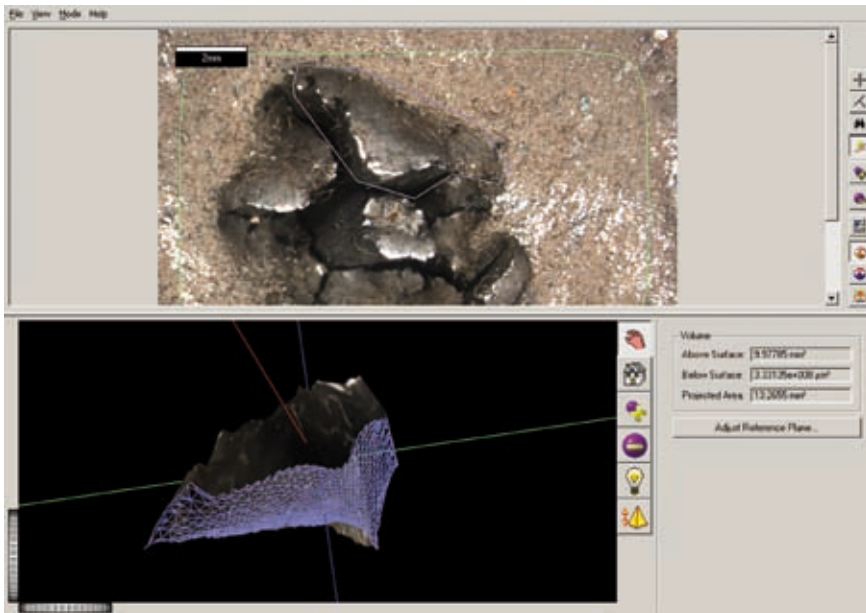


Abb. 3: Volumenmessung in der Bruchanalyse. Das zu messende Volumen wird durch ein 3D-Modell visualisiert.

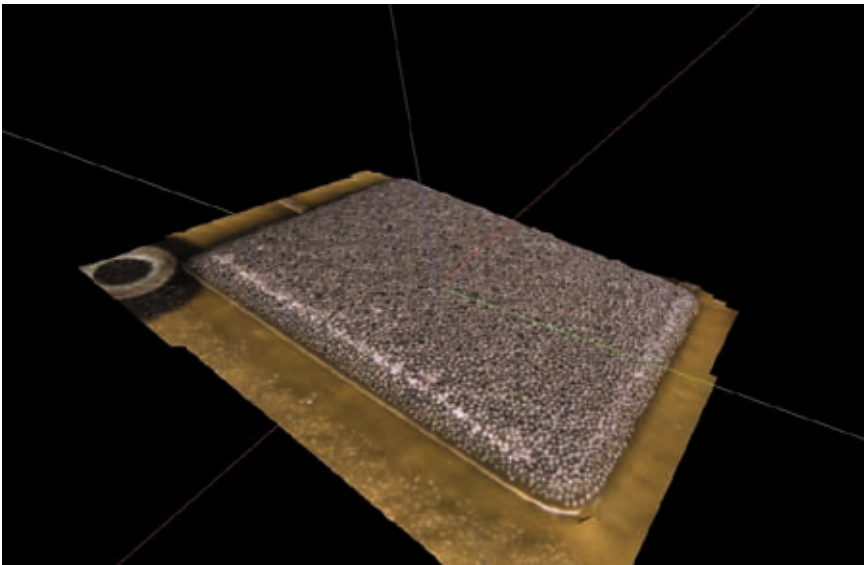


Abb. 4: 3D-Modell einer Lötpaste mit Koordinatenachsen, visualisiert mit Leica Stereo Explorer

Analyseroutinen sind modular kombinierbar und intuitiv zu bedienen. Die Gesamtheit der Auswertungsmöglichkeiten zu beschreiben, würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Beispielhaft sei an dieser Stelle das Modul für die Profilanalyse erwähnt. Damit lässt sich ein Höhenprofil entlang von benutzerdefinierten Linien extrahieren, das wiederum für die Berechnung relativer Höhenmessungen, wie in Abbildung 2 dargestellt, verwendet werden kann. Alle etablierten Messungen wie Rauigkeit, Welligkeit oder Profile sowie verschiedene statistische Berechnungen können mit dem Leica StereoExplorer durchgeführt werden. Mit dem Modul für die Flächenanalyse werden beispielsweise Parameter wie das Verhältnis aus wahrer zu projizierter Oberfläche berechnet, auch Tragkurve genannt. Mit dem in Abbildung 3 gezeigten Volumenanalysen-Modul sind direkte volumetrische Messungen in Verbindung mit frei definierbaren Polygonlinien möglich.

Vielfältige Anwendungen

Der Leica StereoExplorer und die Leica IC 3D Kamera sind überall dort hilfreiche Werkzeuge, wo die Oberflächenstruktur einer Probe wichtig ist. Dies können beispielsweise die Dokumentation der Oberflächenrauigkeit für Affinitätsberechnungen sein, die Bruchanalyse bei mechanischen Bauteilen oder die Volumina von Eindrücken oder Erhebungen geformter Oberflächen. In folgenden Einsatzbereichen werden die Vorteile der innovativen Technologie von Leica Microsystems besonders offensichtlich:

- Bruchanalyse
- Halbleiterinspektion
- MEMS (Mikroelektromechanische Systeme)
- Materialentwicklung
- Geologie
- Arzneimittelforschung und -herstellung
- Biomedizinische Forschung
- Entomologie

Jederzeit nachrüstbar

Mit der Entwicklung des Leica StereoExplorer und der Digitalkamera Leica IC 3D werden erstmals direkte quantitative Messungen dreidimensionaler Oberflächenparameter in stereomikroskopischen Bildern möglich. In rekonstruierten 3D-Bildern können präzise Profil-, Flächen- und sogar Volumenberechnungen durchgeführt werden. Alle Messwerte, 3D-Modelle und weitere Parameter können einfach in Standardformaten exportiert und in Berichten weiterverarbeitet werden. All diese Analyseaufgaben lassen sich mit dem Stereomikroskopen Leica M165 C durchführen, das sich mit entsprechenden Systemkomponenten, beispielsweise Tuben, Objektive, Basen, Beleuchtung, leicht nachrüsten lässt. Somit kann die Leistungsfähigkeit eines Labors mit vergleichsweise niedrigen Investitionskosten enorm gesteigert werden.

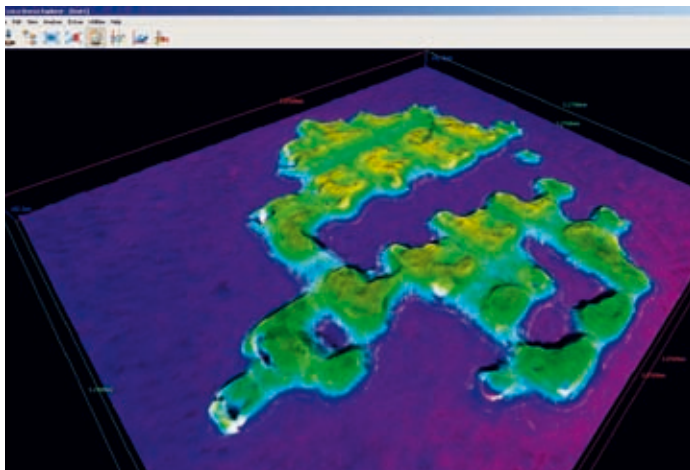


Abb. 5: Höhenkodierte Falschfarbendarstellung einer Oberfläche

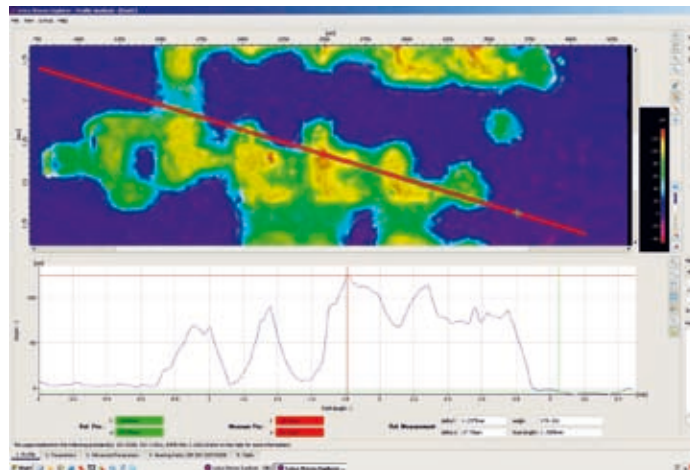


Abb. 6: Das Modul Profianalyse stellt das Höhenprofil entlang einer benutzerdefinierten Linie (rot). Dieses Profil erlaubt verschiedene weiterführende Auswertungen.

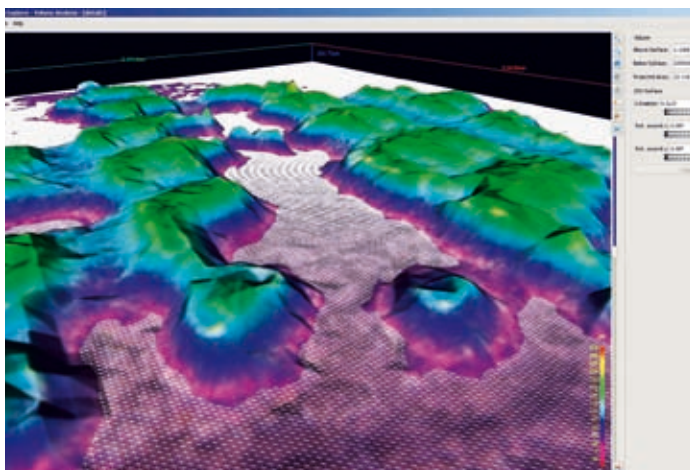


Abb. 7: Der Leica StereoExplorer errechnet präzise die Volumina oberhalb und unterhalb einer Referenzebene.

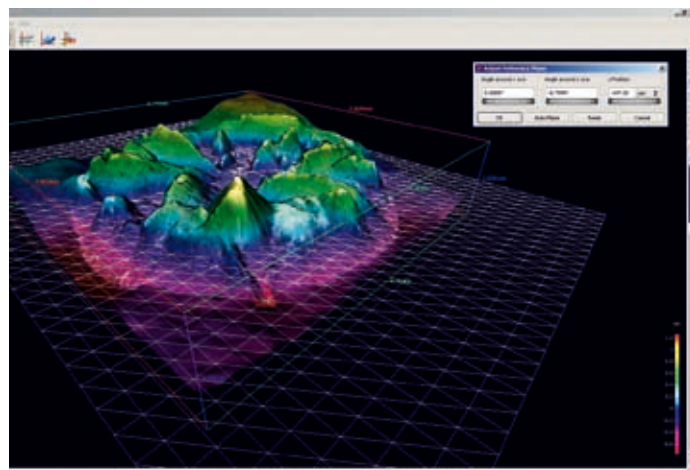


Abb. 8: Der Anwender kann eine beliebige Referenzebene definieren, die um alle Achsen gedreht werden kann. Sie bestimmt den Null-Punkt für alle Folgemessungen.

Wollen Sie über neue **reSOLUTION** Ausgaben informiert werden?

Registrieren Sie sich einfach auf unserer Internetseite und wählen sie aus den unterschiedlichen reSOLUTION Editionen:

www.leica-microsystems.com/registration.01

Alle aktuellen und früher erschienenen reSOLUTION Ausgaben sind auf unserer Internetseite zum Herunterladen verfügbar:

www.leica-microsystems.com/magazines.01



Homogene Domebeleuchtung für schwierige Proben

Reflexionsbändiger

Moderne Mikroskop- und Kameratechnik machen es Anwendern in vielen Fällen leicht, ihre Proben am Stereomikroskop zu untersuchen und quantitativ auszuwerten. Doch einige Materialien bereiten selbst Mikroskopiespezialisten immer wieder Kopfzerbrechen. Sollen metallische Oberflächen charakterisiert werden, treten häufig Reflexionen auf, die keine befriedigende Bildaufnahme zulassen. Um dieses Problem aus der Welt zu schaffen, hat Leica Microsystems eine ebenso einfache wie geniale Beleuchtungslösung entwickelt: die flexible Domebeleuchtung Leica LED5000 HDI™.

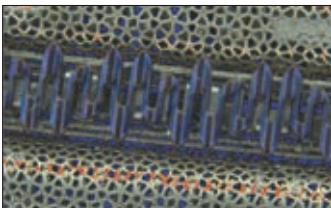
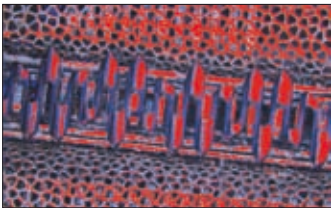


Abb. 1: Oben: Folienscherkopf, aufgenommen mit Ringlicht. Die roten, überbelichteten Stellen liefern keine Bildinformation. Unten: Folienscherkopf mit Leica LED5000 HDI™ aufgenommen. Die Domebeleuchtung sorgt für gleichmäßige Ausleuchtung und durchgängige Strukturinformationen.

Die Schwierigkeit, Proben mit reflektierenden Oberflächen über Stereomikroskope und entsprechende digitale Mikroskopkameras zu visualisieren, ist seit langem bekannt. Gängige Beleuchtungstechniken strahlen die Probe meist direkt an, was insbesondere bei Metalloberflächen zu starken Reflexionen führt. Diese überfordern häufig den Dynamikbereich von digitalen Kameras und machen es praktisch unmöglich, ein ausgewogenes Bild von der Probe zu erhalten. Das Bild weist dann über- und unterbelichtete Bereiche auf, die keine verwertbare Information für Analysen und Messungen liefern.

Kreativität gefragt

In Gesprächen mit Kunden, die mit diesem Problem konfrontiert waren, begegneten den Produktspezialisten von Leica Microsystems immer wieder abenteuerliche Eigenkonstruktionen der Kunden, die irgendwie versuchten, die Reflexionen zu unterdrücken. Einige Anwender hatten kurzerhand einen weißen Plastikbecher ohne Boden über die Probe gestülpt. So konnte die Probe durch das Objektiv ungehindert beobachtet werden, gleichzeitig schirmte das weiße, halb durchsichtige Plastik die direkte Lichteinstrahlung von Schwanenhalslichtleitern ab und erzeugte so ein indirektes Licht.



Abb. 2: Leica FlexiDome™ in unterer Position: diffuse Rundumbeleuchtung unterdrückt weitestgehend Reflexionen und Schattenwürfe. Streulicht und Fremdlicht werden eliminiert, die Beleuchtungsintensität bleibt während des Mikroskopierens konstant.

Vom Prinzip her funktioniert die neue Leica LED5000 HDI™ ganz ähnlich, wenn sie auch technisch deutlich ausgereifter ist. Sie basiert auf dem Konzept eines Beleuchtungsdoms, dessen Kuppelform ein sehr homogenes, indirektes Licht erzeugt, das in seiner Beleuchtungsintensität konstant ist. Gleichzeitig wird von außen kommendes Fremdlicht effektiv abgeschirmt. Die Leica LED5000 HDI™ sorgt so für eine gleichmäßige Lichtverteilung ohne starke Reflexionen und Schlagschatten.

Einzigartig flexibel

Das Konzept der Domebeleuchtung ist dabei nicht völlig neu. Es wird in der automatisierten, kameragesteuerten Qualitätssicherung vielfach eingesetzt. Doch diese für Maschinen konstruierte Domebeleuchtung verwendet starre Kuppeln. Sie wären für die Mikroskopie nicht praktikabel, da der Zugang zur Probe sich sehr umständlich gestalten würde – wie bei dem Plastikbecher. Bei der LED5000 HDI™ besteht der Beleuchtungsdom (Leica FlexiDome™) aus flexiblem Silikongummi. Mit einem einfachen Handgriff kann der Dom geöffnet und wieder geschlossen werden.



Abb. 3: Leica FlexiDome™ in oberer Position: maximale Zugänglichkeit zur Probe. Die Lichtcharakteristik entspricht einer Neonkreisleuchte.

zugänglich und kann neu ausgerichtet werden, ohne den Fokus zu verstellen. In hochgeklappter Position liefert die Leica LED5000 HDI™ eine Lichtcharakteristik, die mit einer Neonkreisleuchte vergleichbar ist. In heruntergeklappter Position wird die Probe rundum mit homogenem, diffusem Licht beleuchtet. Der weiche und langlebige Silikongummi schützt die Probe zusätzlich. Die flexible und einfache Handhabung macht die LED5000 HDI™ einzigartig.

Voll integriert

Wie alle LED-Beleuchtungen von Leica Microsystems ist auch die Leica LED5000 HDI™ vollständig in das Gesamtsystem aus Mikroskop, Kamera und Software integriert. Gesteuert wird die Dombeleuchtung entweder mithilfe der eingebauten Folientastatur,

über die Leica Application Suite oder das externe Bedienelement Leica SmartTouch™. Alle Beleuchtungseinstellungen sind reproduzierbar. Der Anwender profitiert zusätzlich von den energiesparenden LED-Lichtquellen, die durch ihre äußerst lange Lebensdauer einen Lampenwechsel überflüssig machen.

Die Vorteile der Leica LED5000 HDI™ kommen insbesondere in Kombination mit dem Leica StereoExplorer, dem Leica Application Suite Modul „Montage“ und den High-End Stereomikroskopen Leica M125, M165 C, M205 C und M205 A zum Tragen. Empfohlen wird außerdem der Einsatz eines Motorfokus, insbesondere wenn es um reproduzierbare Oberflächenmessungen geht.

Vorteile von LEDs in der Mikroskopbeleuchtung

- Lange Lebensdauer – ca. 30.000 Stunden
- Kein Lampenwechsel nötig
- Bis zu 90 % geringerer Stromverbrauch
- Farbneutrale Darstellung der Probe
- Konstante Farbtemperatur, auch bei unterschiedlichen Helligkeitsstufen
- Kein Lüfter erforderlich
- Flackerfreies Licht durch Gleichstrom-Komponenten
- Unempfindlich gegen Spannungsschwankungen im Netz

Vorteile der Leica LED-Beleuchtungssysteme

- Bedienelemente am Gerät
- Unempfindliche Folientastatur
- Einfache Installation
- Keine zusätzlichen Steuergeräte erforderlich
- Integriert in die LAS-Software
- Reproduzierbare Einstellungen
- Beleuchtungseinstellung wird mit dem Bild gespeichert
- Guter Zugang zur Probe durch kompakten Aufbau der Beleuchtung
- Platzsparend am Arbeitsplatz

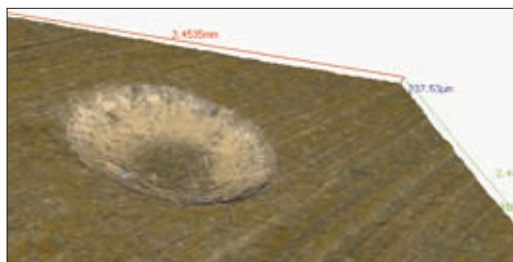
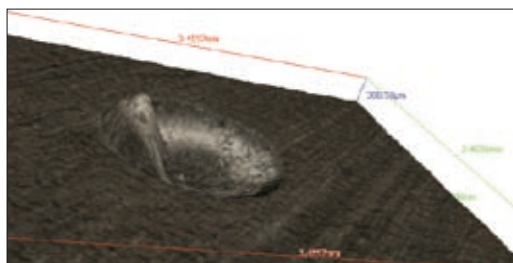


Abb. 4: Oben: Vertiefung in einem Werkstück, aufgenommen mit dem Leica StereoExplorer und einer Neonkreisleuchte. Unten: Ein qualitativ wesentlich besseres Ergebnis liefert die Aufnahme mit dem Leica StereoExplorer und der Leica LED5000 HDI™

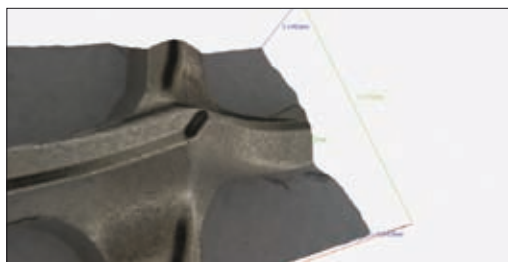
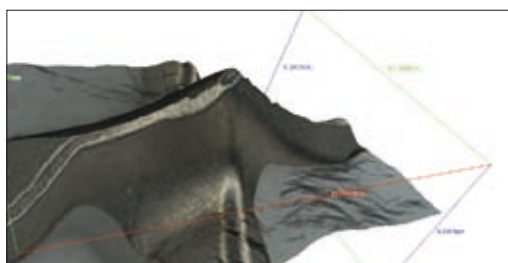


Abb. 5: Oben: Bohrkopf, aufgenommen mit dem Leica StereoExplorer und einer Neonkreisleuchte. Unten: Auch hier das bessere Ergebnis mit dem Leica StereoExplorer und der Leica LED5000 HDI™ offensichtlich.

IMPRESSUM

Herausgeber

Leica Microsystems GmbH
Ernst-Leitz-Straße 17 – 37
D-35578 Wetzlar
www.leica-microsystems.de

Chefredaktion

Anja Schué,
Communications & Corporate Identity
Anja.Schue@leica-microsystems.com

Dr. Carola Troll, European Marketing
Carola.Troll@leica-microsystems.com

Redaktionsteam

Roger Artigas
Meinrad Berchtel
Daniel Göggel
Dr. Petra Kienle
Kerstin Pingel
Urs Schmid
Frank Tönnissen

Layout & Produktion

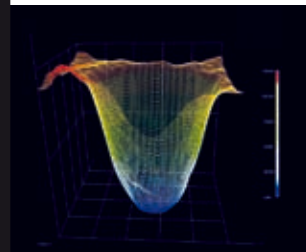
Uwe Neumann,
Communications & Corporate Identity

Titelfoto

Leica Microsystems

Drucklegung

29. April 2010



Digitalmikroskope – der neue Maßstab für Mobilität und Schnelligkeit

Leica DVM2000–5000

- **Faster** – optimierter CCD-Sensor für brillante Live-Bilder
- **Sharper** – bewährte HDR-Technologie für reflexfreie Bilder
- **Smarter** – tragbares System für zerstörungsfreie Analysen an jedem Ort
- **Real 3D** – 360°-Panoramaansicht dank des Image-Rotators

www.leica-microsystems.de

Living up to Life

Leica
MICROSYSTEMS