

KUNDENMAGAZIN FÜR
MATERIALWISSENSCHAFTEN & TECHNOLOGIE

reSOLUTION

Metallographie mit Farbe und Kontrast

Die Möglichkeiten der Gefügekontrastierung

Echt oder gefälscht?

Stereomikroskopie entlarvt Urkundenfälscher

Vertikale Auflösung – kleine Schritte, große Wirkung

3D-Visualisierung von Oberflächenstrukturen



Liebe Leser,

die Tatsache, dass wir unterschiedliche Farben sehen, hängt rein physikalisch mit der Absorption und Reflexion unterschiedlicher Lichtwellenlängen an Objekten zusammen. Dabei ist es ja das Licht selbst nicht farbig, wie Isaac Newton ("The rays are not coloured") schon 1730 erkannte. Erst durch die Verarbeitung der Lichtreize über unser Auge und unser Gehirn entsteht die Empfindung „Farbe“. Warum die Evolution das Farbsehen hervorgebracht hat, darüber streiten die Experten noch. Eine wichtige Funktion der Farbe: Sie organisiert unsere Wahrnehmung, sie hilft beim Erkennen und Unterscheiden von Objekten. Dieser Effekt spielt auch in der Lichtmikroskopie eine entscheidende Rolle. Bereits der erste Beitrag erläutert anschaulich, wie in der Metallographie mittels verschiedener Kontrastverfahren und Farbätzung mikroskopische Bilder anhand ihrer Farbigkeit zusätzliche Aussagekraft erhalten.



Einen ganz anderen Blick als Metallographen haben Kriminaltechniker auf Farben, wenn sie mit dem Stereomikroskop die Echtheit von Druckfarben in einem Dokument prüfen. Restauratoren sind wiederum auf der Suche nach kleinsten Farbspuren bei antiken Skulpturen, um nachzuvollziehen, wie opulent farbig der Alltag der Griechen und Römer gewesen sein muss.

Selbstverständlich bieten wir Ihnen in dieser reSOLUTION Ausgabe auch Neues aus der Mikroskopietechnologie, wie die Oberflächenanalyse mit Digitalmikroskopen, High-Definition-Bildgebung und Mikroskope zur Wafer-Inspektion.

Anja Schué
Communications & Corporate Identity

Carola Troll
European Marketing Manager Industry

ANWENDERBERICHTE

Metallographie mit Farbe und Kontrast Die Möglichkeiten der Gefügekontrastierung	03
Echt oder gefälscht? Stereomikroskopie entlarvt Urkundenfälscher	10
Antiker Farbenrausch Digitalmikroskop gibt Aufschluss über antike Skulpturen	13
Wo die Germanen die Römer besiegten Archäologische Forschung zur Varusschlacht	16
Ein Beitrag zur Laborhygiene Antimikrobielle Beschichtung bei Ausbildungsmikroskopen	20

TECHNOLOGIE

Vertikale Auflösung – kleine Schritte, große Wirkung 3D-Visualisierung von Oberflächenstrukturen	22
Schneller detektieren! Neue Inspektionsmikroskope Leica DM8000 M und DM12000 M	25
Die Welt in HD entdecken High-Definition-Bildgebung im Unterricht	26
REGISTRIERUNG	27
IMPRESSUM	27

Die Möglichkeiten der Gefügekontrastierung

Metallographie mit Farbe und Kontrast

Ursula Christian und Prof. Dr. Norbert Jost, Hochschule Pforzheim

In der Werkstoffkunde und der Schadensanalyse spielt die Untersuchung der Gefügemorphologie eine entscheidende Rolle. Um die realen Strukturen von Materialien im Lichtmikroskop sichtbar zu machen, gibt es eine ganze Reihe von Möglichkeiten. In aussagekräftigen Bildbeispielen stellen wir hier einige praxisrelevante Verfahren vor.

Sauber präparieren

Am Anfang steht immer die Anfertigung eines metallographischen Schliffes. Die Präparation des realen Gefüges gelingt allerdings nur dann, wenn die Probenoberfläche völlig verformungsfrei und sauber ist. Im Anschluss an die Schlifferstellung erfolgt in der Regel sofort eine Ätzung in Säuren, Laugen oder Salzlösungen zur Entwicklung der Gefügestruktur. Dadurch werden die Korngrenzen angegriffen oder bestimmte Korn- und Phasenflächen aufgeraut, die dann im Hellfeld dunkel erscheinen.

Die richtigen Verfahren kombinieren

Genügen diese Verfahren nicht für eine umfassende Untersuchung, entspricht das Ätzergebnis nicht den Anforderungen oder ist das Material ätzresistent, werden entweder Farbätzungen oder weitere lichtmikroskopische Verfahren wie Polarisation, Dunkelfeld und Interferenzkontrast eingesetzt. Vielfach liefert erst eine Kombination von Farbätzung und optischer Kontrastierung die besten Ergebnisse. Wie unterschiedlich sich Gefüge damit darstellen lassen, verdeutlichen Aufnahmen derselben Probenstelle einer Kupferlegierung (Abb. 1 – 6).

Die Abbildungen 7 bis 12 zeigen unterschiedliche Kontrastierungsmöglichkeiten von Gefügebestandteilen an verschiedenen Materialien. Bei der hier vorgenommenen Farbätzung kommt es zur Ausbildung von unterschiedlich dicken Sulfatschichten auf den Korn- oder Mischkristallflächen.

Abb. 1 – 3: Aufnahmen eines kubisch-flächenzentrierten (kfz) Gitters einer Kupferlegierung mit verschiedenen Kontrastierungsverfahren, 1: Hellfeld, 2: Dunkelfeld, 3: Interferenz.

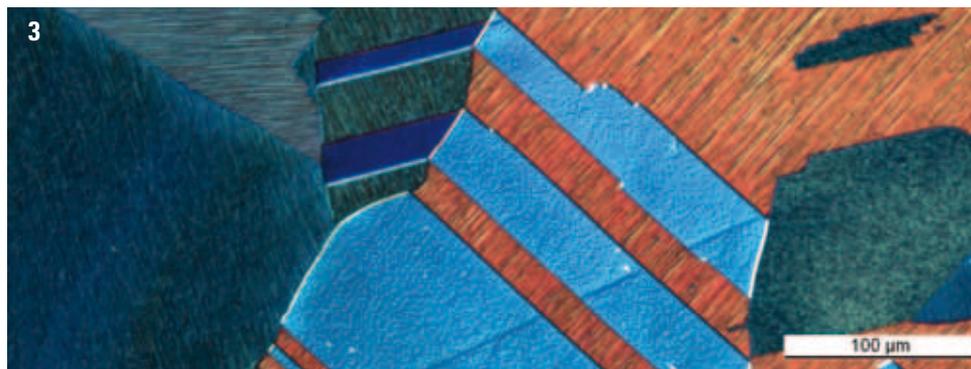
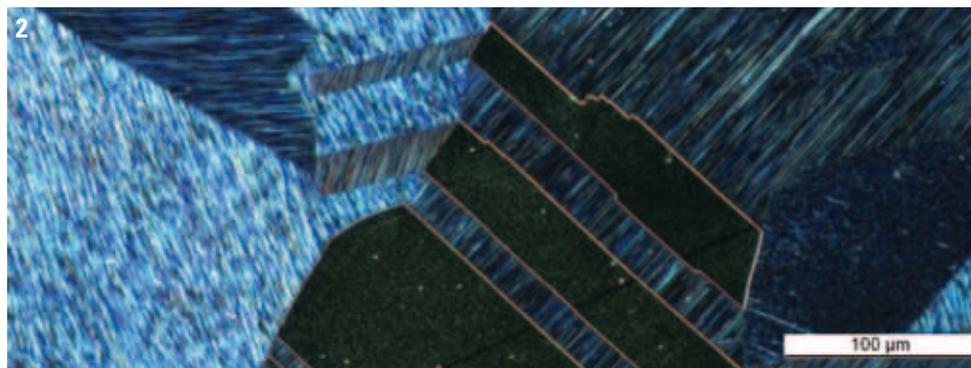




Abb. 4 – 6: Aufnahmen eines kfz-Gitters einer Kupferlegierung mit Polarisation und unterschiedlichen Winkeln.

Die Ätzungen erfolgten in einem Ätzmittel nach Klemm (K) oder nach Beraha (B). Dabei handelt es sich um Farbätzungen auf Kaliumsulfitbasis. Die Zusammensetzung ist nachzulesen in „Metallographisches, keromographisches, plastographisches Ätzen“ von Günter Petzow und Veronika Carle, Borntraeger Verlag, 2006.

In Abbildung 7 und 8 wird der Ferrit im Stahl bunt gefärbt, das Eisenkarbid bleibt hingegen hell. Damit wird eine klare Kontrastierung der Karbidausscheidungen erzielt. Schweißschichten von austenitischen Stählen sind in Abbildung 9 und 10 dargestellt. Hier sind zum einen die Gussstruktur, zum anderen aber gleichzeitig die Seigerungen und die Wärmeinflusszonen klar hervorgehoben. Auch Abbildung 11 zeigt eine Seigerung in einer Zinnbronze durch Anschmelzen. Dass mit Hilfe einer solchen Ätzung sogar eine Subkornbildung sichtbar gemacht werden kann, dokumentiert Abbildung 12 sehr anschaulich.

Polarisation mit und ohne Farbätzung

Durch die optische Polarisation der geätzten Proben- schlitze unter dem Mikroskop lassen sich Farb- kontrast und spezielle Gefügeausbildungen häufig verstärken. In den Abbildungen 13 bis 18 werden mit dieser Methode unterschiedliche, meist in der Her- stellung von Halbzeugen oder Bauteilen induzierte Verformungsmechanismen und daraus entstehende spezifische Verformungsstrukturen in den Werkstoff- gefügen sehr klar herausgearbeitet.

Wenn mit einer Farbätzung nicht die gewünschte Kontrastierung einzelner Gefügebestandteile erzielt wird, oder bei Verbundwerkstoffen nur eine Phase angegriffen wird, hilft ebenfalls oft die Untersuchung der Probe im polarisierten Licht. Die Abbildungen 19 bis 21 zeigen Beispiele dazu. Bei dem aus nordischen

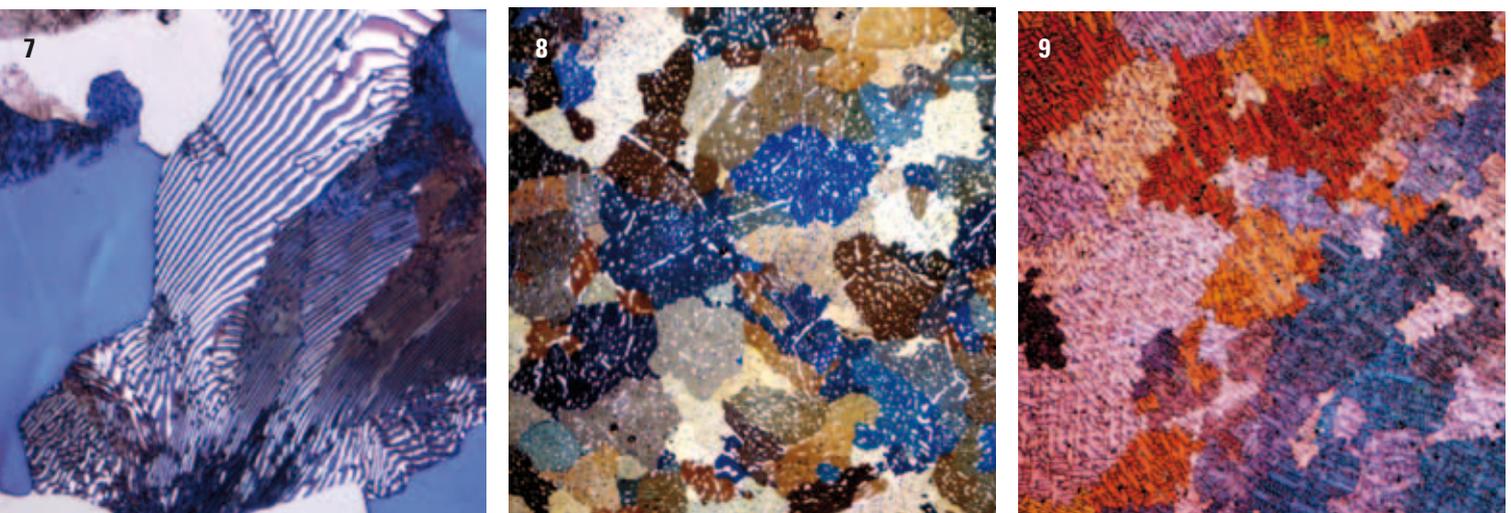


Abb. 7 – 9: Farbätzung bei verschiedenen Korn- oder Mischkristallflächen und unterschiedlich dick ausgebildeten Sulfatschichten. 7: Ferrit-Perlit-Gefüge, der Ferrit wird bunt gefärbt, Fe₃C bleibt hell, Ätzung nach Klemm (K), 8: diese Kontrastierung macht die Güte einer Weichglühung sichtbar (K), 9: durch Laserbehandlung erzeugtes austenitisches Gussgefüge, Ätzung nach Beraha (B).

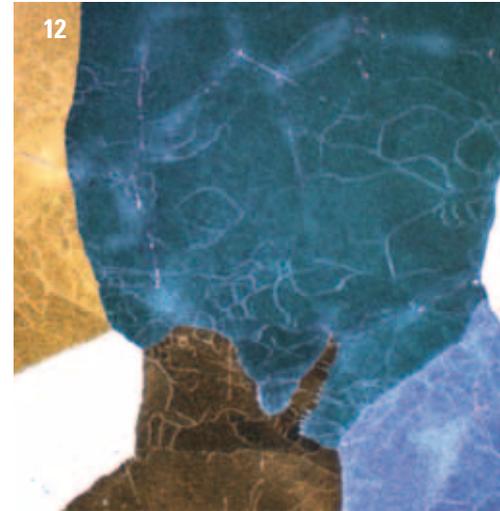
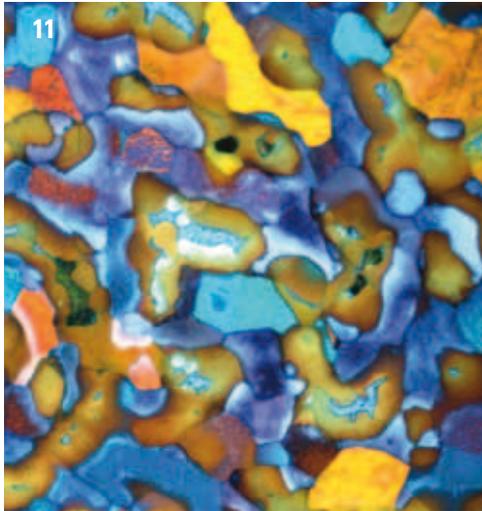
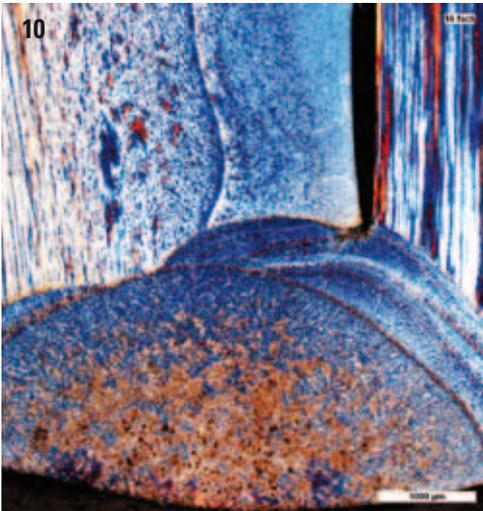


Abb. 10 – 12: Farbätzung bei verschiedenen Korn- oder Mischkristallflächen und unterschiedlich dick ausgebildeten Sulfatschichten. 10: Laserschweißverbindung verschiedener austenitischer Stahldrähte (B), 11: Konzentrationsunterschiede in einem Bronzedraht (K), 12: Kornflächenätzung und Subkornbildung in einer Zinnstange (K).

Gold bestehenden 10-Cent-Stück wird so eine weit-aus bessere Darstellung der Korn- und Zwillingsstruktur erreicht (Abb. 19). Im Wolframkarbid sind einzelne Kristalle und ihre Nadelstruktur sichtbar (Abb. 20). Bei schwarzem, kohlenfaserverstärkten Kunststoff sind Menge, Größe und Ausbildung der Graphitfasern gut erkennbar (Abb. 21). Sollen verschiedene Materialien im Verbund dokumentiert werden, ist eine zusätzliche optische Kontrastierung meist unabdingbar. So lassen sich, wie Abbildung 22 zeigt, die Gefügestruktur des Sondermessings und gleichzeitig das darauf aufgebrachte Glasfasergeflecht hervorragend optisch darstellen. In der Aufnahme eines durchtrennten Kondensators ist der mit einer dünnen Kupferschicht umhüllte Glasfaserkern erkennbar, der auf eine Leiterbahn aus Zinnbronze aufgelötet ist (Abb. 23). In der letzten Abbildung dieser Serie ist eine als Verschleißschutzschicht dienende Sinterschicht aus Zinnbronze mit Graphitanteilen und keramischen Partikeln zu sehen (Abb. 24).

Diese Beispiele verdeutlichen, dass die Verteilung und Ausbildung von unterschiedlichen Phasen für die Werkstoffeigenschaften von großer, wenn nicht maßgeblicher Bedeutung sind. Aus diesem Grund ist eine eindeutige Unterscheidung mittels der hier vorgestellten Methode besonders wichtig.

Kontrastieren mit Interferenz

In den in Abbildung 25 bis 28 dargestellten Beispielen wird deutlich, dass eine bereits durch Ätzung entwickelte Gefügestruktur im Interferenzkontrast betrachtet noch eine zusätzliche Dimension erhält. So erkennt man vor allem im unten dargestellten

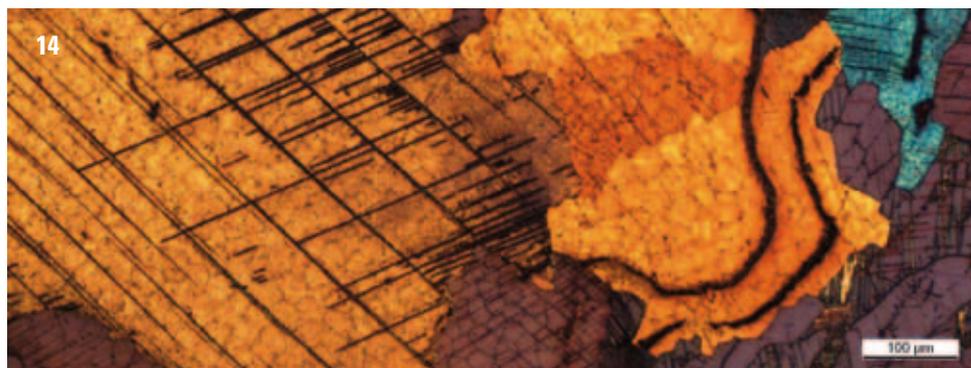
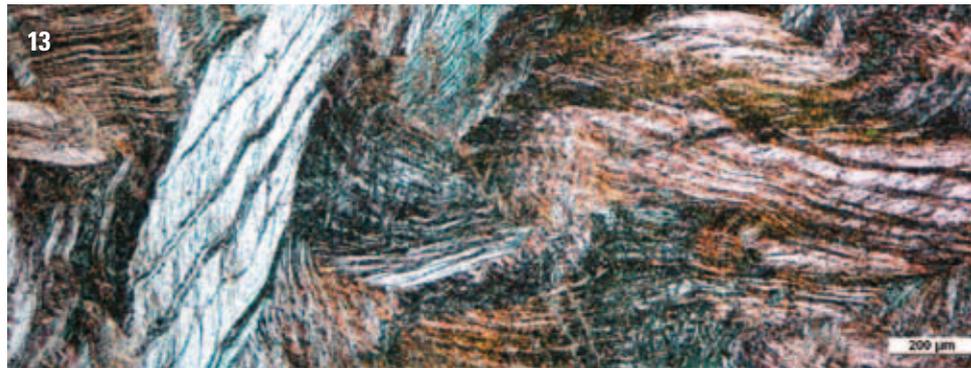


Abb. 13 – 15: Polarisation mit und ohne Farbätzung. 13: Niob kaltverformt (B), 14: Kobalt kaltgewalzt (B), 15: Zink mit Zwillingsbildung durch dynamische Verformung (K).

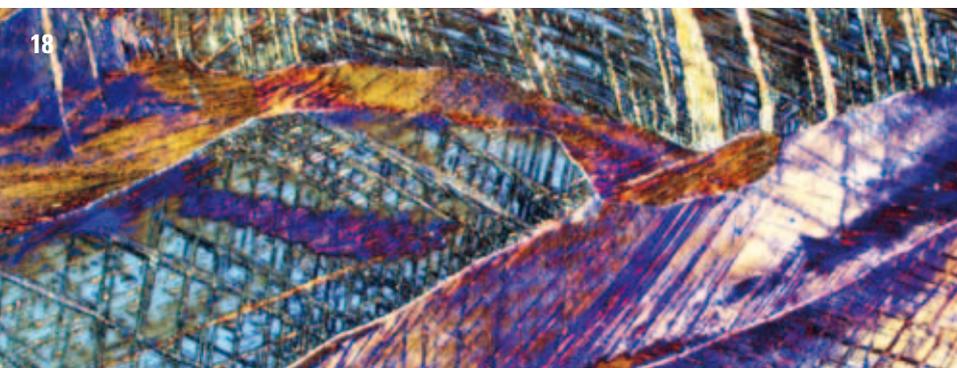
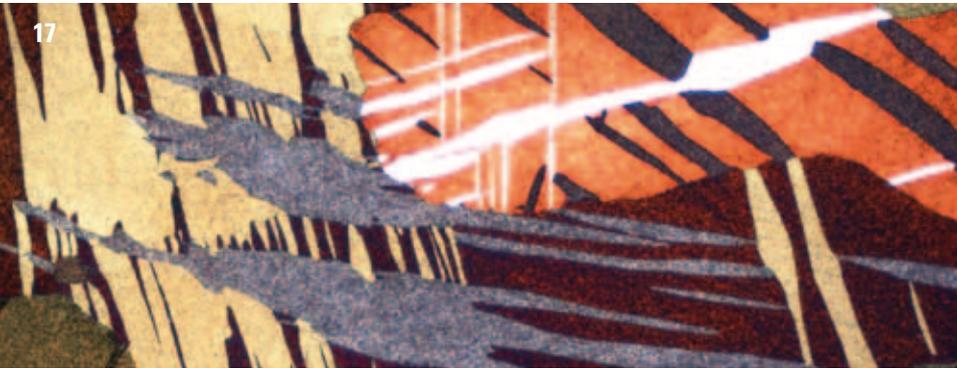


Abb. 16 – 18: Polarisation mit und ohne Farbätzung. 16: SnPb-Lötzinn, Zwillingsbildung zeigt Verformung an der Lötstelle (K), 17: Sn dynamisch verformt, die starke Bildung von Verformungszwillingen ist ein Hinweis auf eine dynamische Beanspruchung (K), 18: Gleitbänder durch starke Verformung an einem CuZn-Draht mit kfz-Gitter (K).

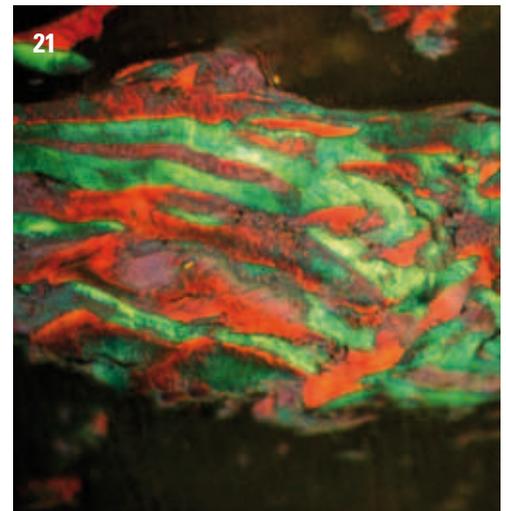
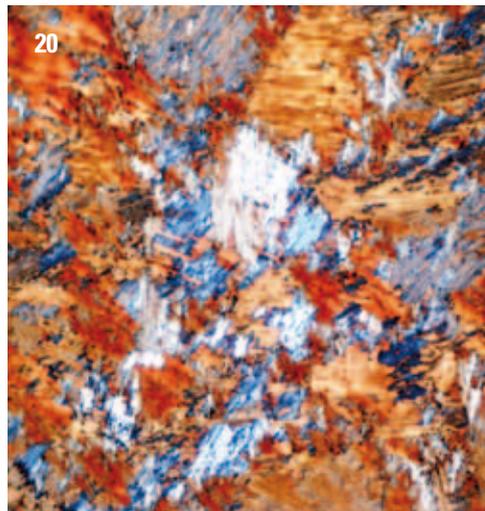
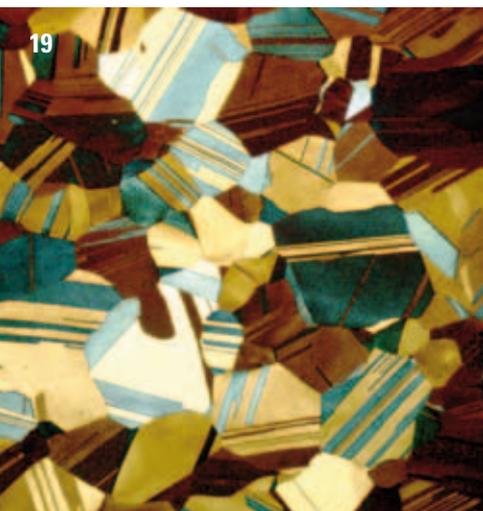


Abb. 19 – 21: Polarisation mit und ohne Farbätzung. 19: 10-Euro-Cent-Stück gefertigt aus nordischem Gold (K), 20: Struktur eines Wolframschmelzkarbides W_2C bestehend aus einer Nadelstruktur, ätzpoliert mit H_2O_2 und polarisiert, 21: Kohlefaser in einem Bauteil, gefertigt aus Kunststoff mit Kohlefasern verstärkt, ungeätzt, polarisiert.

Messinggussdraht (Abb. 27) eine wesentlich genauere Kristallstruktur und zusätzlich die für einen Guss typische dendritische Erstarrung.

Auch die Abbildungen 29 bis 31 dokumentieren eindrucksvoll die Möglichkeiten des Interferenzkontrasts. Abbildung 29 zeigt das Werkstoffverhalten von Zinn, bei dem eine schlagartige Beanspruchung zu einer Kornneubildung und kristallinen Umklappvorgängen durch Zwillingsbildung führt. Abbildung 30 macht die Ausrichtung von Gleitbändern im Korngefüge entsprechend der Kornorientierung deutlich. Bei den meist ätzresistenten Hartmetallen lassen sich mit dieser Technik sphärolitische Karbide mit ihren Sekundäranhaftungen – hier eingebettet in eine zweiphasige Nickelbasislegierung – ebenfalls sehr viel besser darstellen (Abb. 31).

Verbindungen von sehr unterschiedlichen Stoffen in einem Werkstoff sind in den Abbildungen 32 bis 34 dargestellt. Abbildung 32 zeigt eine Silberlotverbindung zwischen Keramik und Kupfer. Abbildung 33 stellt einen Verbund aus Glas-Kunststoffschicht und Glasfasergewebedeckschicht dar, der auf einen keramischen Grundwerkstoff aufgeklebt ist. In Abbildung 34 ist ein Schnitt durch ein elektronisches Bauteil zu sehen. Hier ist auf der einen Seite des Kupferleiters der glasfaserverstärkte Kunststoff zu erkennen, auf der anderen Seite die Struktur der Keramik.

Kontakt

Ursula Christian
 Werkstoffentwicklungs- und Prüflabor
 Hochschule Pforzheim
Ursula.Christian@hs-pforzheim.de

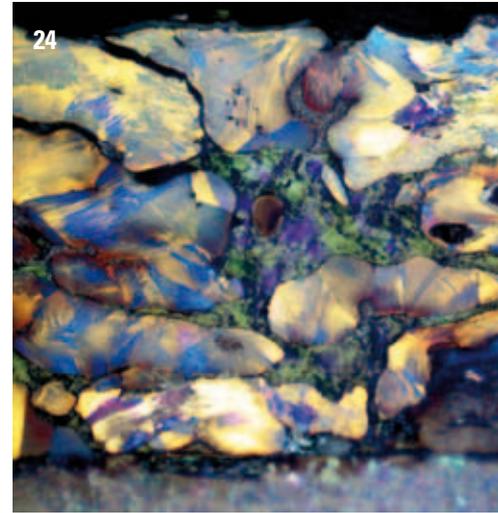
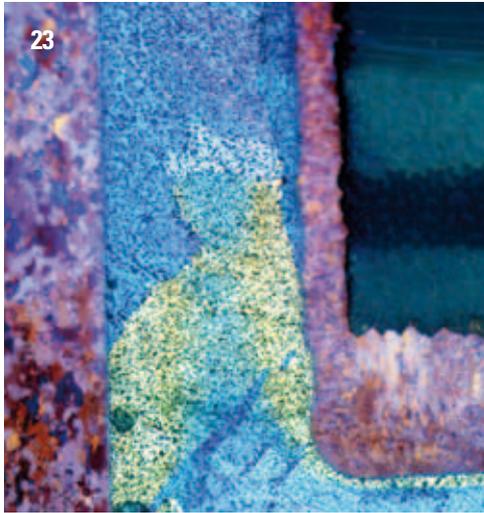
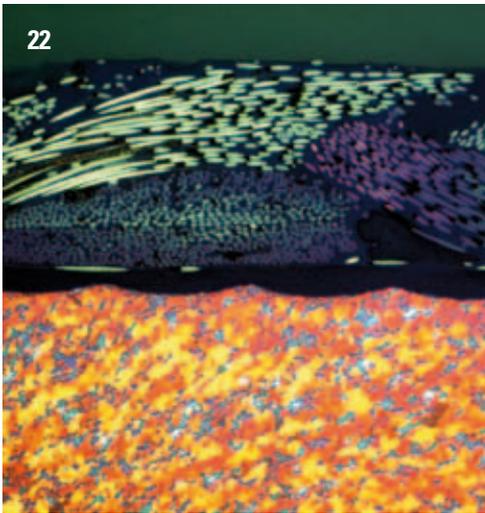


Abb. 22 – 24: Polarisation mit und ohne Farbätzung. 22: Messingteil mit aufgeklebtem Glasfasergeflecht (K) 23: Kondensator mit Kunststoff-Glasfaser-Kern, verkupfert und aufgelötet auf eine Bronze-Leiterbahn (K), 24: gesinterte Verschleißschutzschicht mit Anteilen aus Bronze und Graphit und keramischen Partikeln, gut sichtbare Verformung in der Bronze durch die Kalibrierung (K).

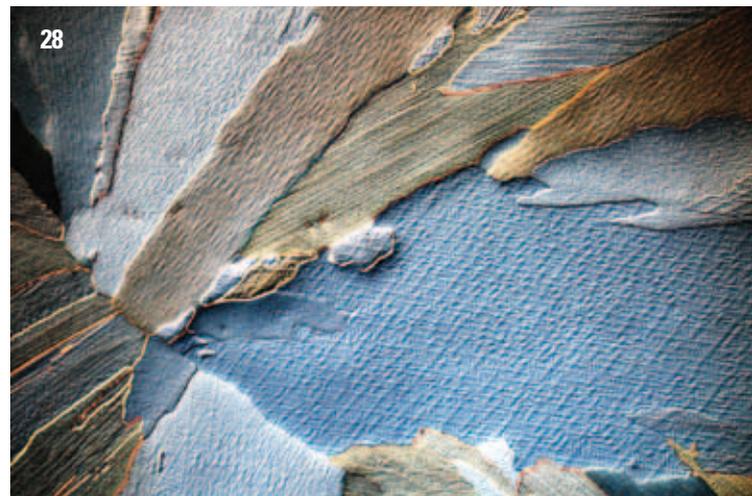
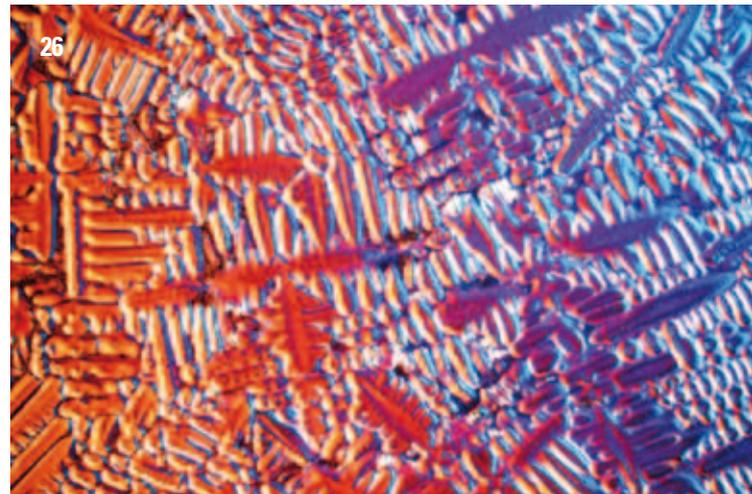


Abb. 25 – 28: Verbesserung der Kontrastierung mit Hilfe von Interferenz. 25: durch Laserschmelzprozess entstandene Austenitgussstruktur im Hellfeld, 26: dieselbe Probe im Interferenzkontrast, der eine deutliche Kontrastierung der Dendriten zeigt (B), 27: Zentrum eines Gießdrahtes aus Messing im Hellfeld, 28: dieselbe Probe im Interferenzkontrast mit deutlicher Verbesserung der Kornkontrastierung und Sichtbarmachen von Dendriten und ihrer Erstarrungsrichtung (K).

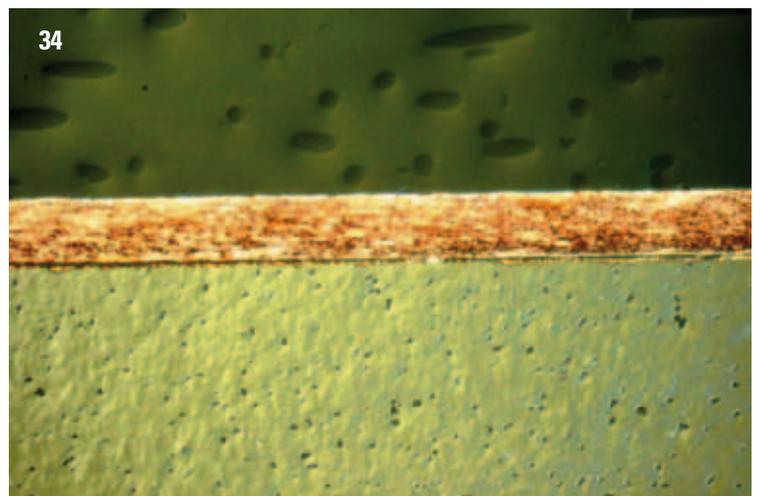
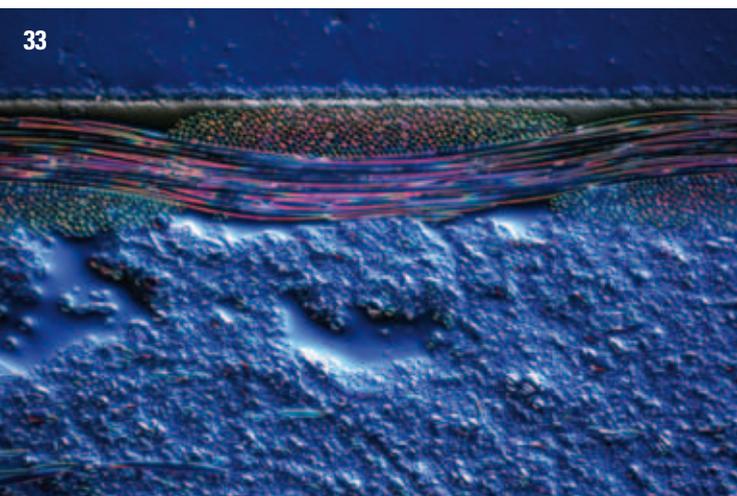
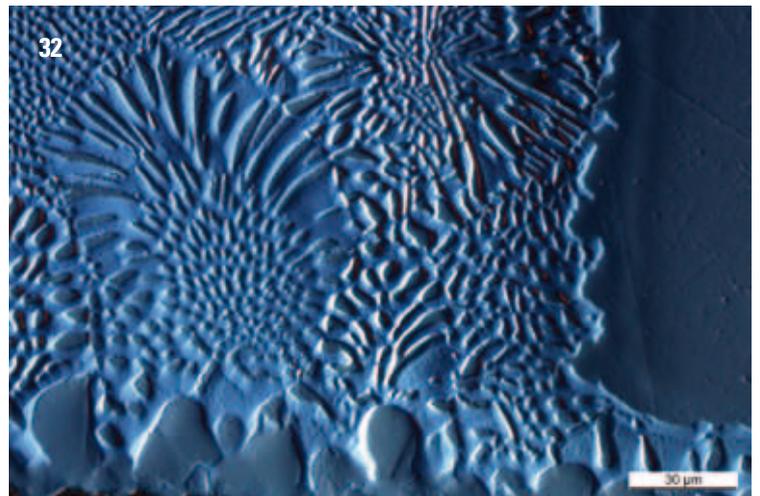
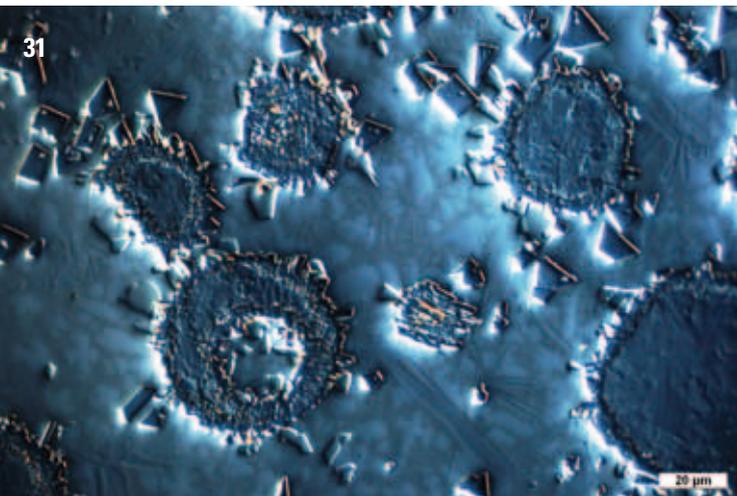
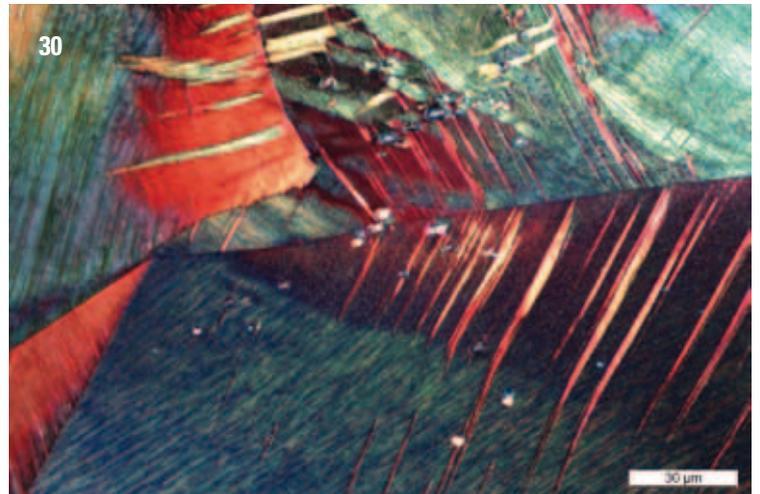
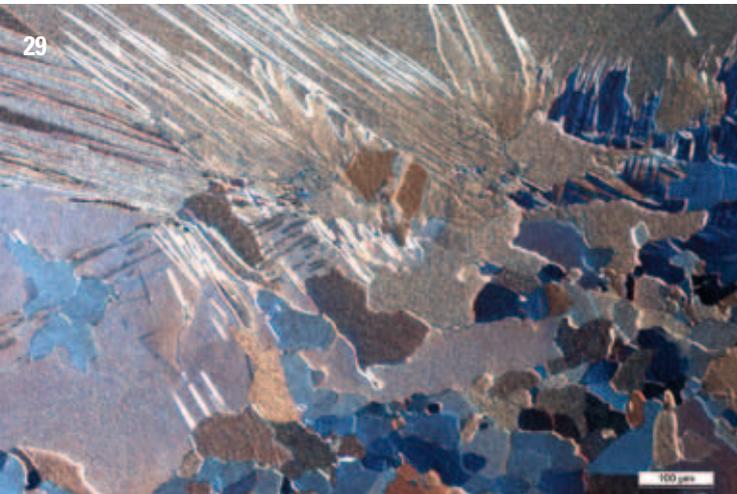
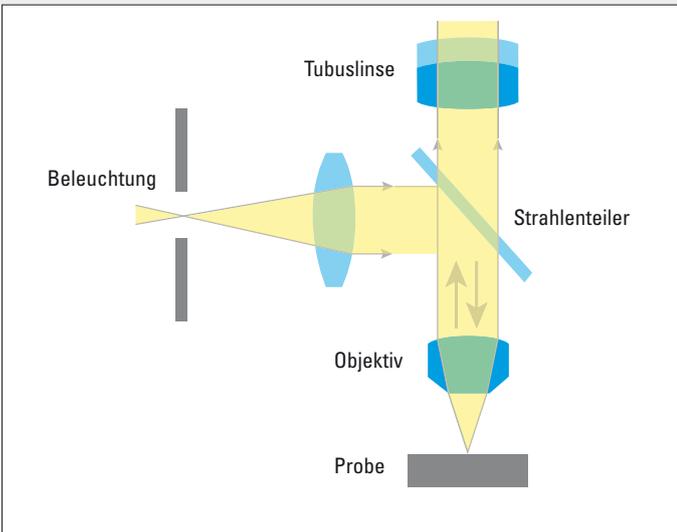


Abb. 29 – 34: Beispiele der Kontrastverbesserung mit Hilfe von Interferenz bei Proben mit und ohne Farbätzung. 29: Verformungszwillingsbildung erzeugt durch schlagartige Umformung (K), 30: Kontrastierung der Gleitbänder in einer verformten Kupferbronze (K), 31: durch den Interferenzkontrast gelingt es, die Wolframschmelzkarbide in der Nickelmatrix gut sichtbar zu machen, 32: Silberlot in der Verbindung von Kupfer und Keramik (ätzpoliert + K), 33: Schnitt durch eine Leiterplatte, Verbund von unterschiedlichen Kunststoffen, poliert, 34: Schnitt durch ein elektronisches Bauteil, Keramik, Metall und mit Glasfaser verstärkter Kunststoff (B).

Kontrastverfahren im Auflicht

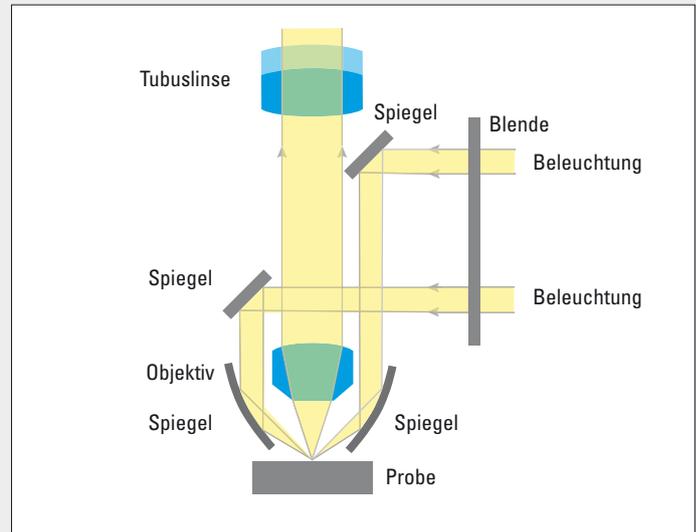
Hellfeld

Nur direktes Licht fällt auf die Probenoberfläche und wird dort absorbiert bzw. reflektiert. Helligkeit, Auflösung, Kontrast und Tiefenschärfe sind die Qualitätsparameter des Bildes.



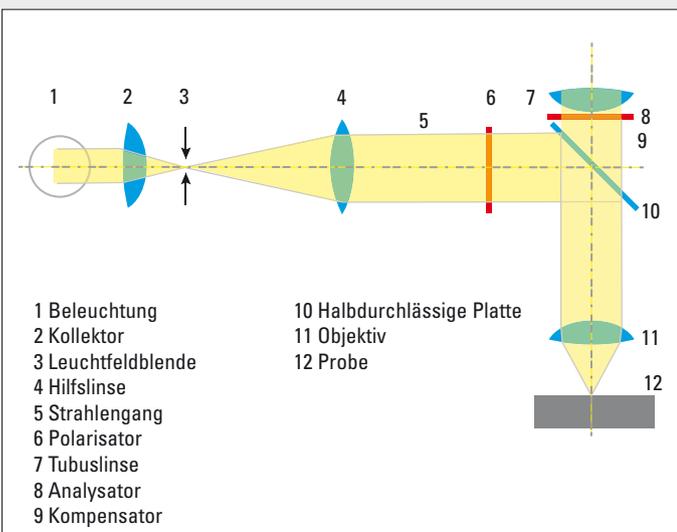
Dunkelfeld

Nur gebrochenes, gebeugtes oder reflektiertes Licht fällt auf die Probenoberfläche. Dunkelfeld eignet sich für alle Proben mit strukturierten Oberflächen. Auch Strukturen unterhalb der Auflösungsgrenze können dargestellt werden. Die Oberflächenstrukturen erscheinen hell auf dunklem Hintergrund.



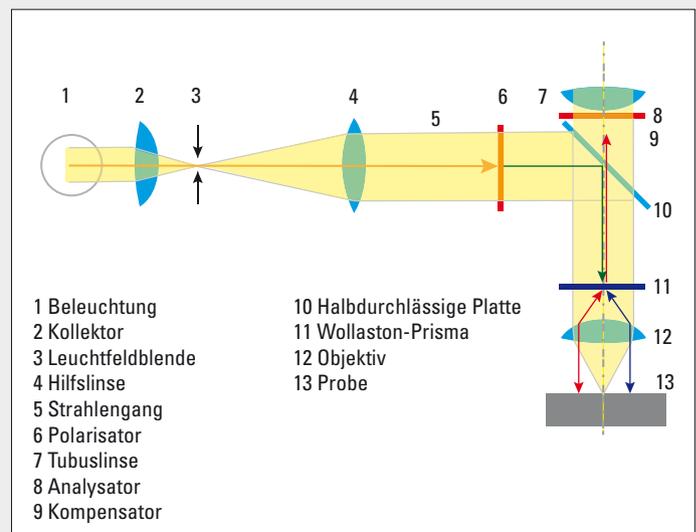
Polarisation

Natürliches Licht besteht aus Lichtwellen mit beliebig vielen Schwingungsrichtungen. Polarisationsfilter lassen nur die Lichtwellen passieren, die parallel zur Durchlassrichtung schwingen. Zwei 90° gekreuzte Polarisatoren erzeugen maximale Auslöschung (Verdunklung). Verändert die Probe zwischen den Polarisatoren die Schwingungsrichtung des Lichtes, treten charakteristische Doppelbrechungsfarben auf.



Differentieller Interferenzkontrast (DIC)

Der DIC visualisiert Höhen- und Phasenunterschiede. Ein Wollaston-Prisma spaltet polarisiertes Licht in eine ordentliche und eine außerordentliche Welle. Diese Wellen schwingen vertikal zueinander, breiten sich unterschiedlich schnell aus und sind räumlich voneinander getrennt. Dadurch entsteht ein plastisches Bild der Probenoberfläche, aus dem sich allerdings keine echten Höheninformationen ableiten lassen.



Stereomikroskopie entlarvt Urkundenfälscher

Echt oder gefälscht?

Anja Schué, Leica Microsystems

Ausweise, Führerscheine, Geburtsurkunden, Abiturklausuren – das Spektrum der Urkundenfälschungen, mit denen sich Einzeltäter oder kriminelle Banden Vorteile verschaffen wollen, ist denkbar groß. Und je ausgefeilter die Sicherheitsstandards sind, desto besser müssen Sachverständige ausgerüstet sein, um echte und gefälschte Dokumente eindeutig zu unterscheiden. In der kriminaltechnischen Untersuchungsstelle des Regierungspräsidiums Stuttgart hilft ein High-End-Stereomikroskop von Leica Microsystems, Urkundenfälschern auf die Spur zu kommen. Als Dienstleistung für die regionale Polizei und Staatsanwaltschaft werden jedes Jahr mehr als 1200 Verdachtsfälle untersucht und begutachtet.

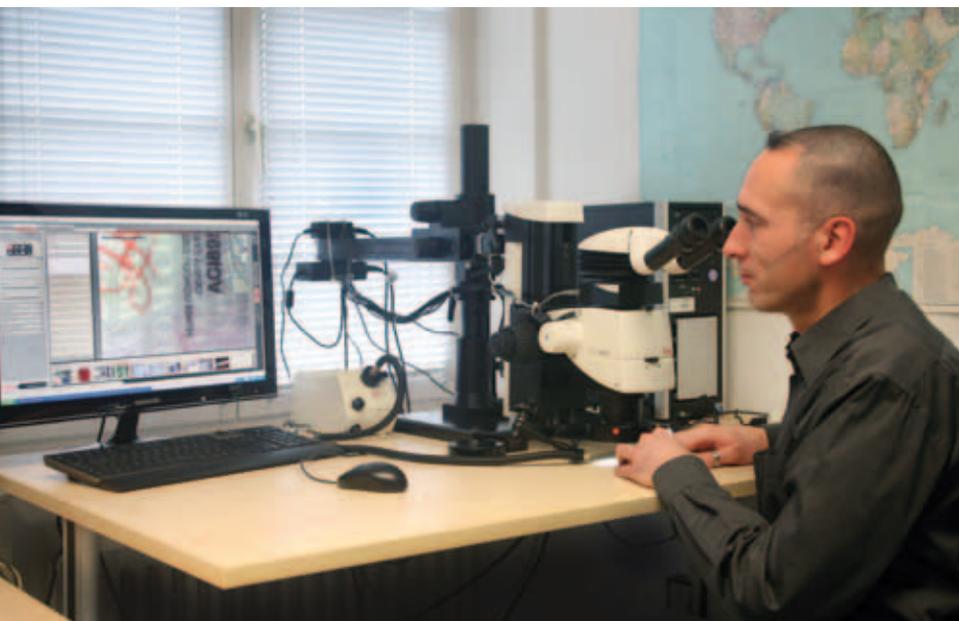


Abb. 1: Für Martin Fischer, Sachverständiger für Urkundenuntersuchungen am Regierungspräsidium Stuttgart, ist das Stereomikroskop Leica M165 C mit LED-Beleuchtung, HD-Kamera und Full-HD-Monitor unverzichtbares Arbeitsmittel, um verdächtige Ausweise, Visa und jegliche Art von Dokumenten auf Echtheit zu prüfen.

Wenn Martin Fischer früh morgens in seine Dienststelle im Regierungspräsidium Stuttgart kommt, warten meist schon einige verdächtige Ausweise auf sein geschultes Auge. Die hat die Polizei bei ihren nächtlichen Kontrollen einbehalten, damit Fischer die Echtheit überprüft. Vor einem Jahr hat der Kriminalhauptkommissar seine Ausbildung zum zertifizierten Sachverständigen für Urkundenuntersuchungen abgeschlossen, und hat sich damit seinen Berufswunsch erfüllt – ein Beruf, der seiner technischen Ader voll entspricht.

Kompetent in allen Verfahren

„Alles, was in irgendeiner Form als Dokument auf Papier, Plastik oder Blech – wie beim Autokennzeichen – gedruckt, unterschrieben, oder mit einem Siegel versehen ist, was eine Berechtigung wiedergibt oder

aus irgendeinem Grund der Vorteilsnahme ver- oder gefälscht werden kann, kann auf meinem Tisch landen“, so Fischer. „Um professionelle Fälschungen zu erkennen und um meine Gutachten wasserdicht zu begründen, muss ich immer auf dem neuesten Stand der Technik sein.“ Er kennt alle Herstellungsverfahren für Dokumente, vom klassischen Druck bis zum RFID-Chip und den neuesten Sicherheitsmerkmalen für Ausweise.

Von Standard bis kurios

Ausweise und Fahrzeugpapiere aus den verschiedensten Ländern machen rund 80 Prozent seiner Arbeit aus, gefolgt von Geburtsurkunden und Staatsangehörigkeitsnachweisen. Aber es gibt immer wieder auch Kurioses und Exotisches. „Unlängst hatte ich ein Deutsch-Zertifikat eines ausländischen Goethe-Instituts zur Prüfung. Ebenso wenig alltäglich waren Prüfungsklausuren für ein Mathematik-Abitur, verknüpft mit der Frage, ob die Arbeiten nachträglich korrigiert wurden, um die Quote zu verbessern“, erzählt Fischer.

„Aber mein bisher kuriosester Fall war eine senegalesische Ledigkeitsbescheinigung – ein langer, schmaler Papierstreifen beschrieben mit einer mir völlig unbekannt Schrift. Die Herausforderung beginnt schon damit, in Erfahrung zu bringen, wie ein derartiges Dokument aussehen muss, damit ich überhaupt eine Aussage treffen kann.“

Obwohl hinter vielen Urkundenfälschungen eine persönliche Geschichte steht oder von Fischers Gutachten das Urteil über einen Angeklagten abhängen kann, geht er immer unvoreingenommen an Fälle heran. „Damit ich die Untersuchungen neutral und unvoreingenommen durchführen kann, lese ich den Sachverhalt der Akte erst nachdem meine Ergebnisse vorliegen“, betont der Sachverständige.



Abb. 2: Ein nachträglich eingesetztes Hologramm, dessen Ränder unter dem Mikroskop eindeutig erkennbar sind.



Abb. 3: Die leicht eingepägten Ziffern zeigen, dass es sich hier um einen echten Hochdruck handelt.

Fälscher – kreativ und dilettantisch

Wie handwerklich geschickt und professionell Fälscher heutzutage ans Werk gehen, versetzt auch Experten wie Fischer immer wieder ins Staunen. Identitätskarten und Pässe sind (neben Banknoten) mit den höchsten Sicherheitsstandards ausgestattet. Doch je mehr High-Tech in einem Ausweis steckt, umso mehr rüsten die Fälscher auf – bis hin zu Versuchen, RFID-Chips, Hologramme und Mikroschrift zu fälschen oder spezielle Drucktechniken wie Irisdruck, Stichtiefdruck oder Lasergravur nachzuahmen. „Dennoch“, so Fischer, „kein Fälscher beherrscht alle Sicherheitsmerkmale gleich gut. Meist konzentrieren sie sich auf einige besonders auffällige Merkmale, die sie mit hohem technischen Aufwand versuchen, perfekt zu reproduzieren.“

Dafür unterlaufen ihnen in anderen Punkten dilettantische Fehler, die es mir dann leichter machen, die Fälschungen zu entlarven. Oft wird versucht, Hologramme, Chips oder andere Bestandteile aus echten Ausweisen einzukleben. Diese Kollagen sind mit bloßem Auge nicht immer leicht zu erkennen oder mit dem Finger zu ertasten – je nach Geschick des Fälschers.“

Mikroskop – das wichtigste Werkzeug

Der erste Schritt bei jedem neuen Fall ist immer die Klassifizierung des Dokuments, ob es ein authentisches oder ein Fantasiedokument ist. Ist das Dokument nicht bekannt, recherchiert Fischer in verfügbaren Datenbanken, um ein Referenzmuster zu bekommen. Im zweiten Schritt prüft er, ob offensichtlich etwas verändert wurde.

Sein geschultes Auge und sein Tastsinn erkennen grobe Manipulationsspuren sofort, beispielsweise wenn Stempel abgerubbelt, Zahlen von Hand überschrieben wurden oder ein neues Lichtbild dilettantisch eingefügt wurde. Dann folgt die mikroskopische Untersuchung. „Ohne ein gutes Mikroskop könnte ich diesen Job nicht machen. Bei der mikroskopischen Untersuchung

entscheiden sich die meisten Fälle“, so Fischer. Er arbeitet mit dem Hochleistungsstereomikroskop Leica M165 C, das über einen 16,5:1-Zoom verfügt und mit LED-Ringlicht, flexiblem LED-Lichtleiter, einem mobilen Schwenkarm, einer High-Definition-Kamera und einem Full-HD-Bildschirm ausgestattet ist.

3D-Bild und LED-Beleuchtung erleichtern die Analyse

„Der 3D-Eindruck des Stereomikroskops kombiniert mit einer guten Beleuchtung sind äußerst wichtig, damit ich feinste Oberflächenstrukturen des Dokumentes untersuchen kann. Erst unter dem Mikroskop erkenne ich die Details besserer Fälschungen – ob jemand versucht hat, Lasergravuren, Tiefdruck- oder Hochdruckelemente nachzuahmen, oder ob es eine gut gemachte Kollage ist, bei der beispielsweise Chip, Hologramm oder Seriennummer nachträglich eingefügt wurden. Irgendwo gibt es dann immer Unstimmigkeiten an den Rändern, den Übergängen bei feinen Liniendruckmustern oder beim Verlauf der Papierfasern“, erläutert Fischer.

Spurensuche unter dem Mikroskop

Wenn lediglich das Lichtbild ausgetauscht wurde, und dabei geschickt vorgegangen wurde, bringen drucktechnische Untersuchungen oder Datenauslesen keinen Hinweis. Hier hilft nur die Spurensuche unter dem Mikroskop. Dabei biegt Fischer den Ausweis auch mal über die Tischkante, um möglichst unter den Rand des eingeklebten Lichtbildes zu schauen. Findet er auf der Ausweisseite weggerissene Fasern, die nicht mit der Bildunterseite korrespondieren, ist der Fall klar.

„Ein falsches Lichtbild ist immer noch der häufigste Manipulationspunkt bei Ausweisen“, so Fischer. „Bei guten Fälschungen ist es nicht immer leicht, die Spuren zu finden. Hier setze ich dann auch die höchsten Vergrößerungen des Mikroskops ein. Für Basisuntersuchungen reicht meist der niedrige Zoombereich zwischen 20- und 30-fach.“



Abb. 4: Diese Seriennummer wurde mit einem gewöhnlichen Tintenstrahldrucker aufgebracht. Mit bloßem Augen wäre das nicht eindeutig erkennbar.

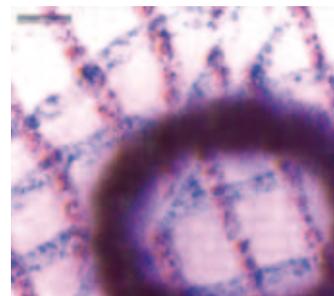


Abb. 5: Diese Lasergravur ist echt. Der Laser brennt die Struktur regelrecht in das Material. Lasergravuren werden beispielsweise auf Kunststoffe aufgebracht, die bei modernen Ausweiskarten eingesetzt werden.



Abb. 6: Bei diesem echten Tiefdruck ist der erhobene Farbauftrag gut zu erkennen.

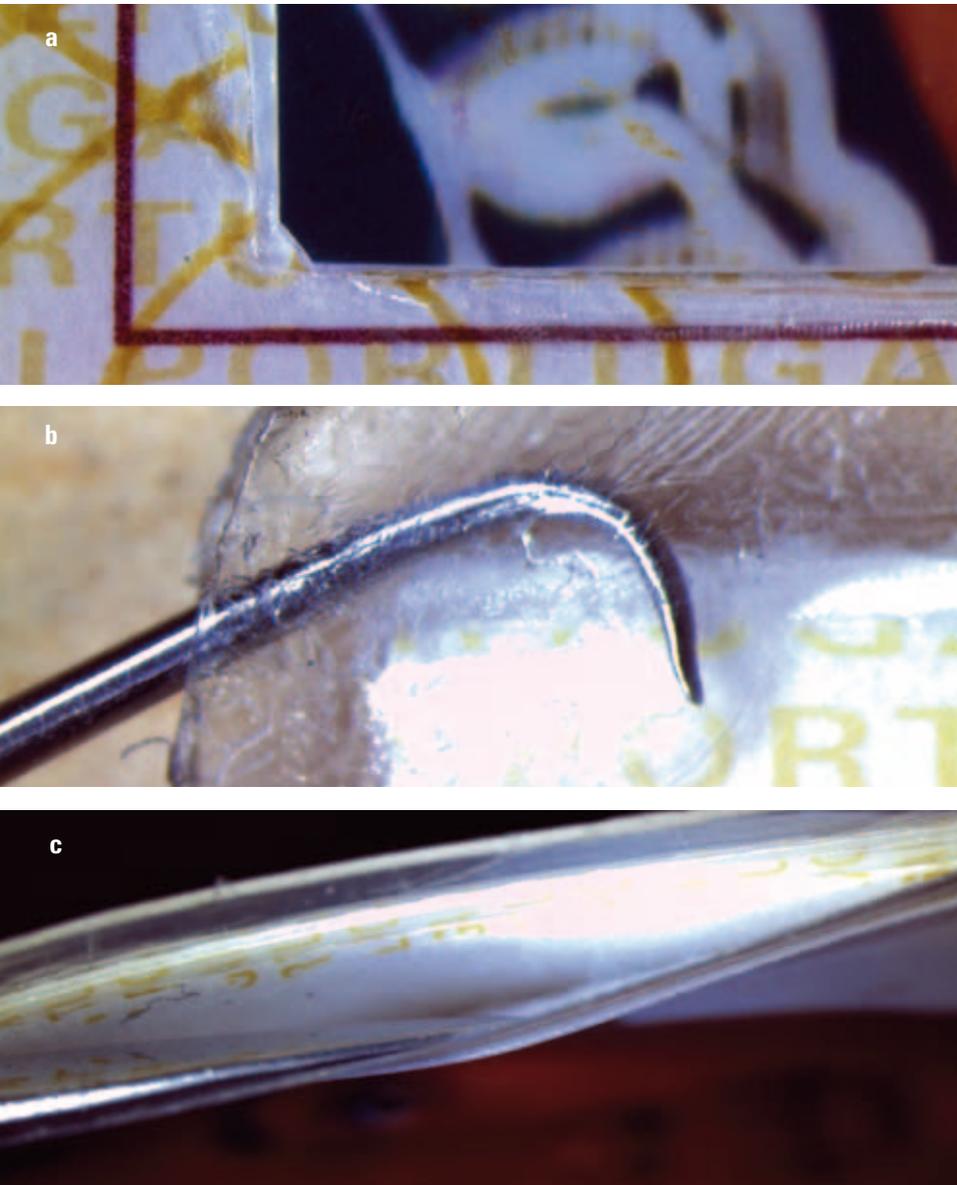


Abb. 7a-c: a: Links und unterhalb des Lichtbildes ist eine manuell angebrachte Schnittkante erkennbar. Hier wurde die authentische Sicherungsfolie aufgeschnitten und das ursprüngliche Lichtbild entfernt. Der Fälscher hat dann ein anderes Bild innerhalb dieser Schnittkanten eingesetzt und alles zusammen mit einer Folie überlaminiert. b: Mit dem Mikroskopierbesteck wird diese „Fremdfolie“ an einer Ecke des Ausweises angehoben. c: Unter dem Lichtbild fehlt der sogenannte Schutzmusterdruck – in diesem Fall die gelblichen Buchstaben. An diesen Stellen wurde das Ausweisungspapier durch das Abheben des ursprünglich eingeklebten authentischen Lichtbildes verletzt.

Außer dem Mikroskop setzt Fischer auch weitere Untersuchungsgeräte ein, beispielsweise um bestimmte Sicherheitsmerkmale, verwendete Tinten- oder Stempelfarben unter UV- oder IR-Licht zu prüfen oder um die Personendaten des Chips auszulesen.

Am Ende jeder Untersuchung dokumentiert Fischer seine Ergebnisse. In seine Gutachten fließen auch die mikroskopischen Aufnahmen ein, die er ausführlich erläutert. „Selbstverständlich bemühe ich mich, die Gutachten so zu verfassen, dass keine Fragen offen bleiben“, betont Fischer. „Vorladungen zu Gerichtsverhandlungen, in denen ich ein Gutachten persönlich begründen muss, bekomme ich selten.“

Kontakt

Martin Fischer
Regierungspräsidium Stuttgart
Referat 65 – Kriminaltechnische Untersuchungsstelle
Martin.Fischer@polizei.bwl.de

Die Idee, Schriftstücke zu fälschen...

... ist sicherlich fast ebenso alt wie der Gebrauch von offiziellen Dokumenten und Verträgen. Sogar die Geschichte Europas wäre vielleicht anders verlaufen, wenn nicht die berühmte, um das Jahr 800 gefälschte Konstantinische Schenkung der Kirche Roms und dem Papst Weisungsbefugnis über alle anderen Ortskirchen und einen weltlichen Machtanspruch zugestanden hätte, der dem des Kaisers gleich kam. Insbesondere im Mittelalter nutzte das Papsttum diese Urkunde, um sich gegen kaiserliche Bevormundung zu wehren.

Erst 600 Jahre später wurde der Nachweis erbracht, dass diese angeblich von Konstantin I im 4. Jahrhundert ausgestellte Urkunde nicht authentisch sein kann. Heutzutage wären Fälschungen dieser Tragweite sicher nicht möglich. Doch die Versuchung, sich durch falsche oder manipulierte Dokumente Vorteile zu verschaffen, ist nach wie vor so groß, dass Polizei und Gerichte mit der Verfolgung von Straftaten dieser Art viel beschäftigt sind.

Digitalmikroskop gibt Aufschluss über antike Skulpturen

Antiker Farbenrausch

Kerstin Pingel, Leica Microsystems

Das weiß jeder: Die antiken Marmorskulpturen waren weiß. Oder doch nicht? Die Wissenschaftler des Copenhagen Polychromy Network (CPN) zeigen, dass die Statuen der Griechen und Römer mit aufwändigen Ornamenten und kostbaren Farben verziert waren. Mit Hilfe des Digitalmikroskops Leica DVM3000 erkennen die Restauratoren kleinste Spuren von Farbpigmenten, die auf einen wahren Farbenrausch in der Antike schließen lassen.

Mineralien wie der blaue Azurit oder der grüne Malachit wurden fein zermahlen und mit Bindemitteln wie Ei oder Kasein angerührt. Die Farbigekeit der Skulpturen steigerte deren Plastizität und gab dem Betrachter wichtige Hinweise zum Verständnis des Kunstwerkes. So konnten die antiken Besucher der Akropolis die Figur des „Perserreiters“ erst dann als Person aus dem Orient erkennen, wenn sie die typischen bunten Rauten auf der Hose sahen.

Interdisziplinäres Netzwerk für Grundlageforschung

„Wir wissen, dass Farbe ein integraler Bestand aller griechischen und römischen Skulpturen war“, sagt Jan Stubbe Østergaard, Research Curator der Abteilung Antike Kunst in der Ny Carlsberg Glyptotek. „Aber wir sind weit entfernt davon, dieses Phänomen wirklich zu verstehen.“ Das Ziel des Copenhagen Polychromy Network, in dem sich verschiedene dänische Institute zu einem interdisziplinä-

ren Forschungsteam zusammengeschlossen haben, ist es daher, die Skulpturen der Glyptotek zu erforschen und alle Spuren von Farbe zu dokumentieren. Die Zeit drängt, denn diese Spuren werden allmählich verblassen.

Einziger Beweis sind Mikroskopbilder

Das Mikroskop ist das wichtigste Werkzeug von Restauratorin Maria Louise Sargent, da einige Farbreste so winzig sind, dass keine Proben entnommen werden können. „Der einzige Beweis für das Vorhandensein von Farbe ist das, was ich durch das Mikroskop sehe“, erklärt die Restauratorin. „Deshalb ist es sehr wichtig, dass ich die Skulptur systematisch untersuche, so dass die Farbreste jederzeit wieder auffindbar sind.“ Maria Louise Sargent verwendet dafür das Operationsmikroskop Leica M651 sowie das Digitalmikroskop Leica DVM5000.

„Mit dem Digitalmikroskop kann ich sehr flexibel arbeiten“, so die Restauratorin. „Die Statuen sind bis zu zwei Meter hoch und wir müssen jeden Zentimeter scannen. Außerdem

Abb. 1: Farben verleihen Lebendigkeit: Rekonstruktion der Polychromie einer archaischen griechischen Löwenstatue (um 550 v. Chr.). Rekonstruktion von V. Brinkmann und U. Koch-Brinkmann. Foto: Ny Carlsberg Glyptotek



Abb. 2: Die Kalkstein-Statue aus dem syrischen Palmyra stammt aus der Zeit von 190 bis 210 v. Chr. Sie war mit kostbarem Schmuck verziert. Foto: Ny Carlsberg Glyptotek



bietet das Digitalmikroskop eine 160-fache Vergrößerung. Die Farbpigmente und Reste der Originalfarbe, die nur noch in Spuren erhalten sind, können wir nun leichter erkennen und analysieren. Dank der digitalen Technologie können wir zudem Videos und Bilder aufnehmen und diese auf dem Monitor diskutieren.“ Von jedem untersuchten Bereich der Statue wird ein Foto für die Dokumentation gemacht.

Spuren von 2000 Jahren werden sichtbar

Zurzeit arbeitet Maria Louise Sargent an der „Schönheit von Palmyra“. Die Kalksteinstatue aus dem syrischen Palmyra stammt aus der Zeit von 190 bis 210 v. Chr. Sie war mit kostbarem Schmuck dekoriert, der in der Mitte vielleicht eine Glaskugel enthalten hat. „Die Kunstwerke sind mehr als 2000 Jahre alt, und sie haben eine Menge erlebt“, sagt Sargent. „Das heißt, dass ich viele Spuren sehen kann, einschließlich der Spuren von Verschmutzung oder von aggressivem Reinigen. Das Schwierige ist, die Spuren korrekt zu identifizieren.“ Denn die antiken Maler benutzten Materialien wie Roten Ocker, eine Erdfarbe. Was ist also Farbe, was ist nur Erde vom Ausgrabungsort? Für Schwarz wurde Kohle benutzt, aber auch die moderne Luftverschmutzung wird durch Kohlepartikel sichtbar.

Noch viel zu tun für die Polychromie-Forschung

Obwohl das CPN bereits bedeutende Forschungsergebnisse vorweisen kann, steht die Polychromie-Forschung noch ganz am Anfang. „Auch wenn wir Farben auf antiken Skulpturen identifizieren können, wissen wir nicht, wie diese wirklich ausgesehen haben“, sagt Østergaard. „Wir müssen noch viel mehr wissen über die Maltechnik oder die ästhetischen Effekte der antiken polychromen Kunstwerke.“

Welche neuen Erkenntnisse die Untersuchung der zahlreichen Skulpturen der Ny Carlsberg Glyptotek mit dem Leica M651 und dem Digitalmikroskop Leica DVM3000 bringt, wird in einer großen Ausstellung im Jahr 2012 in Kopenhagen zu sehen sein.

Kontakt

Jan Stubbe Østergaard
Copenhagen Polychromy Network, Dänemark
jso@glyptoteket.dk



Abb. 3: Spuren von roten, ockerfarbenen und schwarzen Pigmenten werden unter dem Digitalmikroskop sichtbar. Foto: Ny Carlsberg Glyptotek



Abb. 4: Mit Hilfe eines Digitalmikroskops dokumentiert die Restauratorin Rikke Hoberg Farbspuren auf einer syrischen Statue. Foto: Ny Carlsberg Glyptotek



Abb. 5: Mikroskopische Aufnahme des rechten Auges eines griechischen Porträts. Wimpern und andere aufgemalte Details sind gut zu erkennen. Foto: Ny Carlsberg Glyptotek

Archäologische Forschung zur Varusschlacht

Wo die Germanen die Römer besiegten

Kerstin Pingel, Leica Microsystems

„Germanische Barbaren schlagen Superarmee!“ So mag im Jahre 9 n. Chr. die Nachricht gelautet haben, die vom Sieg der Germanen über drei römische Legionen unter Publius Quintilius Varus berichtete. Die „Varusschlacht“ gilt als folgenreichste Schlacht der Antike und lange Zeit rätselten die Wissenschaftler, wo die Kämpfe stattgefunden haben könnten. Inzwischen spricht alles dafür, dass die Römer am Kalkrieser Berg nördlich von Osnabrück in ihr Verderben liefen. 2000 Jahre später versucht man im Museum Kalkriese, die Ereignisse anhand der archäologischen Bodenfunde und mit Hilfe eines Stereomikroskops von Leica Microsystems zu rekonstruieren.

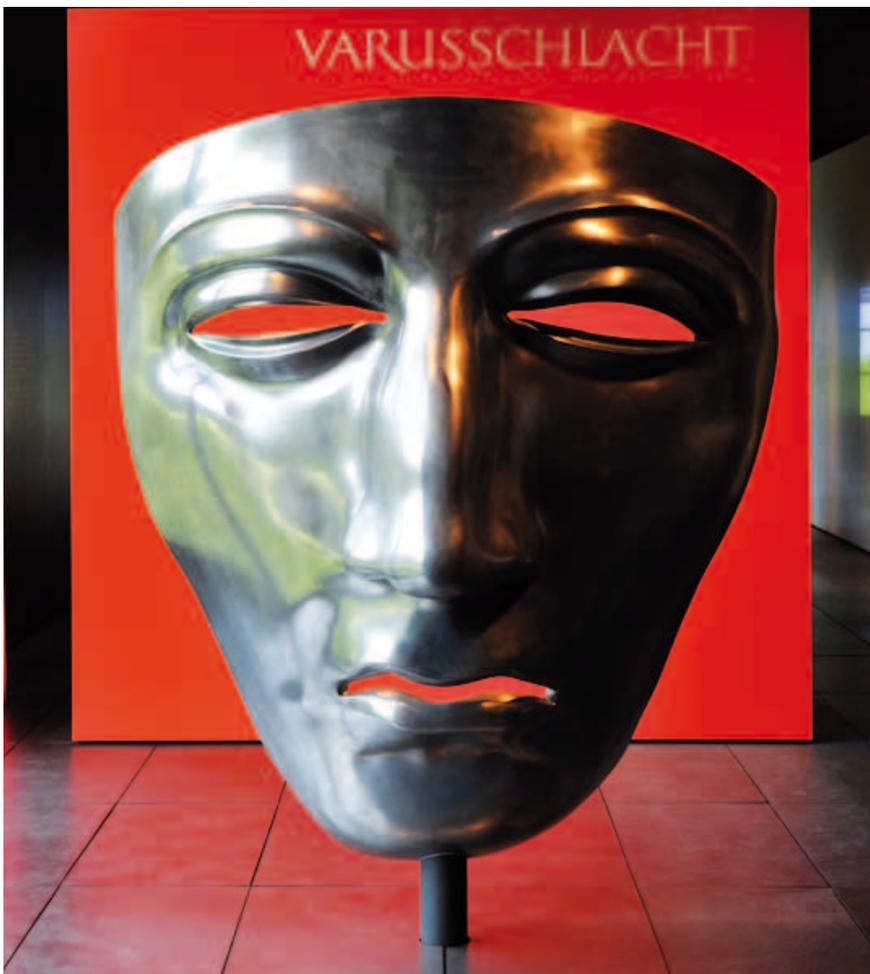


Abb. 1: Eine überdimensionale Kopie der römischen Gesichtsmaske bildet den Auftakt der Dauerausstellung. © VARUSSCHLACHT im Osnabrücker Land GmbH, Foto: Hermann Pentermann

Publius Quintilius Varus, Statthalter in Germanien, ahnte nichts von der bevorstehenden Gefahr, als er auf dem Rückweg in das römische Winterlager am Rhein eine Nachricht seines Vertrauten Arminius erhielt. Arminius, gebürtiger Cherusker und Anführer germanischer Hilfstruppen in römischen Diensten, bat um Unterstützung gegen aufständische Germanenstämme. Varus ließ seine drei Legionen umschwenken – und lief geradewegs in die Katastrophe hinein. Denn Arminius hatte die Römer in einen Hinterhalt gelockt, dem die schlagkräftigste Armee der Antike fast wehrlos ausgeliefert war.

Überraschungsangriff aus dem Unterholz

Die Germanen waren ihren Gegnern weit unterlegen – sowohl zahlenmäßig als auch was die Ausrüstung angeht – und hätten in einer offenen Feldschlacht keine Chance gehabt. Deshalb wandten sie eine Art „Guerilla-Taktik“ an: Immer wieder griffen sie aus dem Schutz der Wälder den langsamen und völlig überraschten römischen Tross an.

Die Germanen hatten sich die Eigenschaft der Landschaft zunutze gemacht: Zwischen dem Kalkrieser Berg und dem Großen Moor im Westen lag ein natürlicher Engpass, so dass die 20.000 Mann starken Legionen weit auseinander gezogen waren. An eine Kampfaufstellung oder Verständigung zwischen den Gruppen war nicht zu denken. Zudem erschwerten tagelanger Regen und die viele Kilos wiegende Marschausrüstung die Gegenwehr der Römer. Am dritten Tag waren die Römer vernichtend geschlagen, Feldherr Varus hatte sich das Leben genommen. In der Folgezeit zogen sich die Römer hinter die Rheingrenze zurück.

Auch Bruchstücke erzählen eine Geschichte

Seitdem 1987 in Kalkriese die ersten Funde geborgen wurden, die auf ein Kampfgeschehen zwischen Römern und Germanen hindeuten, sind rund 6000 weitere Teile ans Tageslicht gekommen. Darunter sind römische Waffen wie Pilumspitzen, Beschläge von Waffengürteln, Schleuderbleie oder Klingen- und Scheidenfragmente. Zu den spektakulärsten Funden zählt die eiserne Gesichtsmaske eines römischen Reiterhelms. „Diese Gesichtsmaske war ursprünglich mit Silber beschlagen. Da die Germanen selber jedoch kaum Metalle besaßen, war das Silber bei der Plünderung des Schlachtfelds willkommene Beute“, erläutert Gisela Söger, Pressesprecherin von Museum und Park Kalkriese.

Nur Metall hat überdauert

Spuren der Plünderung lassen sich an fast allen Fundstücken entdecken: Die meisten Teile sind nur als Fragmente erhalten, weil die Germanen Spannen und Schnallen gewaltsam abrissen, um an die begehrten Brustpanzer aus Metall zu kommen.

Unhandliche Metallbleche wurden gefaltet oder zusammengedrückt, dann aber wohl liegen gelassen. Auch zivile Ausrüstungsgegenstände sind unter den Funden: Zeltheringe, Kochgeschirr, Rebmesser und Äxte zum Roden, ja sogar Nähnadeln. Die Überreste von Transportkisten, medizinische Instrumente, Griffel und Schmuckstücke sind ein Indiz dafür, dass die drei Legionen von einem zivilen Tross begleitet wurden, der aus Ärzten, Schreibern, Händlern und Frauen bestand. Damit waren die Legionen im germanischen Feindesland quasi autark.

„Der Boden in Kalkriese ist sandig, deshalb kann hier nur Metall die Zeit überdauern. Organische Teile zersetzen sich“, erklärt die Restauratorin Christiane Matz. So sind die Transportkisten nur noch an den Metallnägeln zu erkennen, die in rechteckiger Anordnung gefunden wurden. Das Holz ist vergangen.

Millimeterweise in die Vergangenheit vordringen

Da Metall korrodiert, sind die Fundstücke unter dicken Korrosionsschichten verborgen. An der Farbe der Korrosion kann Christiane Matz jedoch bereits



Abb. 2: Millimeterweise arbeitet sich Restauratorin Christiane Matz mit Hilfe des Mikroskops an die Originaloberfläche der 2000 Jahre alten Fundstücke heran. Foto: Hermann Pentermann



Abb. 3: Anhand der Kalkrieser Funde lässt sich die Ausrüstung der römischen Legionäre rekonstruieren. © VARUSSCHLACHT im Osnabrücker Land GmbH, Foto: Hermann Pentermann



Abb. 4: Ziernägel aus Eisen, teils mit Silberauflage. © VARUSSCHLACHT im Osnabrücker Land GmbH
Foto: Christian Grovermann



Abb. 5: Zeuge der Plünderung: Die abgerissene Brustplatte eines römischen Schienenpanzers.
© VARUSSCHLACHT im Osnabrücker Land GmbH, Foto: Christian Grovermann



Abb. 6: Inhalt der Geldbörse eines römischen Soldaten. © VARUSSCHLACHT im Osnabrücker Land GmbH
Foto: Christian Grovermann

sehen, um welches Material es sich handelt: Eisen umgibt eine rostrote Sandschicht, bei Bronze ist die Schicht kompakt und grünlich gefärbt. Fundstücke aus Silber schließlich haben eine schwarze Korrosionskruste. „Bei der Freilegung eines archäologischen Bodenfundes muss ich mich mechanisch gezielt an die originale Oberfläche mit ihren Verzierungen und Gebrauchsspuren herantasten“, so die Expertin. „Die Objekte sollen nicht wie neu aussehen. Das Ziel ist vielmehr, Details zu entdecken und herauszuarbeiten, die nach so langer Zeit noch Informationen über das Fundstück liefern können.“

Millimeter für Millimeter entfernt die Restauratorin die Korrosion. Dazu stehen ihr Mikrosandstrahlgeräte, zahnmedizinische Instrumente, Diamantschleifwerkzeuge sowie ein Ultraschallmeißel zur Verfügung. Je nach Erhaltungszustand und Größe arbeitet sie einen oder mehrere Tage an einem Objekt. „Das wichtigste Instrument ist jedoch das Mikroskop“, sagt Matz. „Denn nur so kann ich die Mikrometer kleinen Instrumente steuern und das Ergebnis begutachten.“

Das Stereomikroskop Leica S6 E hat einen besonders großen Arbeitsabstand, der einen einfachen Zugang zum Objekt während der Bearbeitung erlaubt. „Da ich viele Stunden am Mikroskop arbeite, ist der ergonomische Einblickwinkel für mich sehr wichtig“, ergänzt die Restauratorin.

Knochenfunde von Menschen und Tieren

Trotz der spezifischen Bodenverhältnisse wurden in Kalkriese auch zwei Maultierskelette und eine große Anzahl von unzusammenhängenden menschlichen Knochen gefunden. „Die Maultierskelette lagen in einem Bereich, in dem wahrscheinlich ein von den Germanen errichteter Verteidigungswall stand. Als der Wall zusammenstürzte, wurde das Maultier unter den Grassoden begraben und so unter Sauerstoffausschluss konserviert“, erläutert Gisela Söger. Die menschlichen Skelettreste dagegen stammen aus den acht bislang gefundenen Knochengruben.

Anthropologische Untersuchungen zeigen, dass sie einige Jahre an der Oberfläche gelegen haben, bevor sie in die Erde gelangten. „Aus den Quellen wissen wir, dass der römische Feldherr Germanicus sechs Jahre nach der Schlacht den Ort besuchte und dort die Überreste der Gefallenen bestatten ließ“, so Söger. „Da sich die Römer in Feindesland befanden, werden sie diese wohl in aller Eile in Knochengruben begraben haben.“

Neue Forschungsdisziplin: Schlachtfeldarchäologie

Kalkriese ist das erste antike Schlachtfeld, das mit modernen wissenschaftlichen Methoden erforscht wird. Das bedeutet, dass nicht nur die Funde an sich untersucht werden, sondern auch die Verteilung der

Funde Gegenstand der Forschung ist. Außerdem spielen Fundfragmente erstmals eine große Rolle in der Rekonstruktion der Ereignisse.

An dem Forschungsprojekt Kalkriese arbeiten internationale Wissenschaftler der verschiedensten Fachrichtungen zusammen. Neben Archäologen steuern Paläozoologen Erkenntnisse zu den gefundenen Tierknochen bei, Archäobotaniker untersuchen die Spuren der Vegetation vor 2000 Jahren und Bodenkundler zeigen, wie der Boden von den Germanen bewirtschaftet wurde.

„Die methodischen Grundlagen, die in Kalkriese erarbeitet wurden, können nun mit weiteren Fundplätzen militärischer Aktivität verglichen und weiterentwickelt werden“, sagt Dr. Susanne Wilbers-Rost, Leiterin der Archäologie in Kalkriese. Noch harren große Flächen in Kalkriese darauf, archäologisch untersucht zu werden. Ein Großteil des Fundareals wird man jedoch zukünftigen Generationen überlassen, damit diese mit verbesserten Methoden an diesem besonderen Ort forschen können.

Kontakt

Giesela Söger
Medien- und Öffentlichkeitsarbeit
Museum und Park Kalkriese
Giesela.Soeger@kalkriese-varusschlacht.de

Das Museum Kalkriese

Seit 1989 werden in Kalkriese archäologische Untersuchungen durchgeführt. Kalkriese ist jedoch nicht nur ein spektakulärer archäologischer Fundort, sondern zugleich ein Bodendenkmal, dessen Charakter und Ausdehnung Forschung und Denkmalpflege vor bisher ungekannte Herausforderungen stellt. Neben der Forschung steht auch die Vermittlung an eine breite Öffentlichkeit im Fokus. Das Museum versteht sich als Schaufenster aktueller Wissenschaft und vermittelt Geschichte und Forschung mittels eines innovativen Gesamtkonzepts. Seit der Eröffnung im Jahr 2002 wurde das Museum mehrfach ausgezeichnet.

www.kalkriese-varusschlacht.de



Abb. 7: Auch Ärzte reisten mit den Legionen: Knochenheber und Griff eines Skalpells. © VARUSSCHLACHT im Osnabrücker Land GmbH, Foto: Christian Grovermann

Antimikrobielle Beschichtung bei Ausbildungsmikroskopen

Ein Beitrag zur Laborhygiene



Janika Wiesner, Leica Microsystems

Bakterien sind Teil unserer Welt. Zahllose von ihnen kommen im menschlichen Körper vor und sind völlig unbedenklich. Bei Menschen mit schwachem Immunsystem oder an der falschen Stelle können sie jedoch schwerwiegende Erkrankungen hervorrufen. Auch auf der Oberfläche von Mikroskopen im Ausbildungsbereich, die durch viele Hände gehen, können sich Krankheitserreger verbreiten. Daher haben Leica Microsystems und die SANITIZED AG in Burgdorf, Schweiz, AgTreat™ entwickelt – ein antimikrobielles Beschichtungsverfahren mit dem Wirkstoff Silber für die Ausbildungsmikroskope Leica DM500 und Leica DM750. Christoph Fankhauser, Customer Support der SANITIZED AG, ist verantwortlich für die Initialisierung und Koordinierung von antimikrobiellen Prüfungen der Kundenmuster. Er berichtet über die Vorteile von AgTreat™.



Abb. 1: Christoph Fankhauser, Customer Support der SANITIZED AG

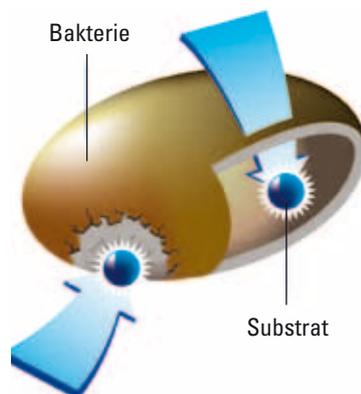
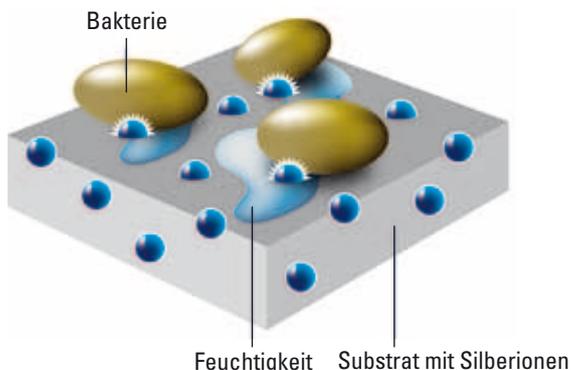
Warum können sich Keime und Pilze gerade auf Kunststoffoberflächen, wie sie ja auch an Mikroskopen zu finden sind, gut vermehren?

Keime brauchen als Nahrung eine Kohlenstoffquelle, damit sie sich ausbreiten können. Eine solche finden sie in vielen Kunststoffen. Ein großer Faktor ist hier aber auch der Mensch, der die Oberflächen verschmutzt, mit einem hauchdünnen Film aus Hautschuppen, Speichel oder Schweiß. Auch Staubpartikel, die im Raum herumfliegen und sich niederlassen, können die Verbreitung von Bakterien fördern. Hier ist eine regelmäßige Desinfizierung notwendig. Wenn ein Reinigungszyklus mal nicht eingehalten werden kann – oder auch zwischen zwei Reinigungszyklen – hilft eine antimikrobielle Beschichtung mit AgTreat™, das Keimwachstum zu kontrollieren.

Warum sind gerade Silberionen so wirkungsvoll gegen mikrobielle Belastungen auf Oberflächen?

Silber ist als Wirkstoff bereits sehr lange bekannt. Schon die alten Römer haben als Vorreiter in Sachen Hygiene Silberbesteck benutzt, um Keimen vorzubeugen. Silbertabletten werden beispielsweise zur Desinfektion von Grundwasserbrunnen in Afrika eingesetzt. Silber ist höchst aktiv und das besonders im Bezug auf Keime, Einzeller und Mikroben. Diese hochaktive Eigenschaft bewirkt aber auch unerwünschte Effekte wie Verfärbungen. Die entscheidende Frage ist: Wie kann man diese Reaktion kontrollieren? Dazu haben wir Silberpartikel in einen Glaskeramikkörper eingebracht. Dieser setzt die Silberpartikel genau dann frei, wenn sie gebraucht werden – also bei Körperwärme und hoher Feuchtigkeit,

Das Silberion findet über die Feuchtigkeit zum Bakterium und inaktiviert es.



So wirkt Silber bei Bakterien:

1. Zellmembran wird destabilisiert
2. Atmung wird blockiert
3. Nahrungsaufnahme wird verhindert
4. Zellteilung wird unterbunden

Abb. 2: Antimikrobielle Wirkungsweise von Silberionen

den optimalen Wachstumsbedingungen für Mikroben. Das positiv geladene Silber reagiert dann mit dem negativ geladenen Bakterium. Dies destabilisiert die Zellmembran des Einzellers. So ist dem Einzeller die Zellteilung nicht mehr möglich, das Wachstum der Bakterien wird verhindert.

Vor welchen gesundheitsgefährdenden Bakterien schützt AgTreat™?

Die AgTreat™-Beschichtung schützt vor einer Vielzahl von Bakterien. Wir prüfen in unserem Labor die besonders relevanten Keime. Dazu gehören Krankenhauskeime wie der Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA), der gegen bestimmte Antibiotika resistent ist. Er stellt besonders für Antibiotika-Patienten eine große Gefahr dar, deren eigenes Immunsystem außer Gefecht gesetzt ist. Bei rund 37°C kann sich der MRSA bestens vermehren und schließlich den kompletten Organismus lahm legen. Wir sprechen aber auch von lebensmittelrelevanten Keimen wie dem *Escherichia coli* Bakterium, das vor allem im Darmtrakt zu finden ist, an anderer Stelle aber zu gefährlichen Infektionen führen kann. Ebenfalls häufig in Nahrungsmitteln enthalten sind Salmonellen, die schwere Durchfallerkrankungen verursachen.



Abb. 3: Pro Jahr werden bei SANITIZED rund 20.000 mikrobiologische Tests nach standardisierten Methoden durchgeführt.

Wie testen Sie die Wirksamkeit der AgTreat™-Beschichtung an den Leica Mikroskopen?

Die zu prüfende Oberfläche wird mit einer mit Bakterien versehenen Flüssigkeit angeimpft, also in Kontakt gebracht. Die Flüssigkeit wird mit einer Folie abgedeckt, damit ein ebener Flüssigkeitsfilm entsteht. Das ganze wird dann einen Tag lang bebrütet. Dabei werden optimale Wachstumsbedingungen für Bakterien geschaffen: bei 37 °C Lagertemperatur und mindestens 90 Prozent Luftfeuchtigkeit. Nach 24 Stunden beginnt dann das Auszählverfahren. Wir zählen, wie viele von den ursprünglich ca. 100.000 Keimen diese Prüfung überstanden haben.

Zu welchem Ergebnis sind Sie bei AgTreat™ gekommen?

Auf einem unausgerüsteten Muster befinden sich nach 24-stündiger Bebrütung etwa 1 Mio. Keime. Bei einem präparierten Muster finden wir idealerweise nur noch einen Bruchteil der Keime, die aufgebracht wurden. Bei den mit AgTreat™ beschichteten Mikroskopen Leica DM500 und DM750 konnten wir eine Keimreduktion zwischen 90 und 99,9 Prozent feststellen.



Abb. 4: Um die genaue Keimzahl zu bestimmen, werden mit der Mikropipette die Verdünnungsreihen ausgeplattet.

Wie wichtig schätzen Sie die antimikrobielle Funktion von AgTreat™ bei Mikroskopen für Schulen und Universitäten ein?

Studenten haben meist Kontakt zu vielen Menschen – nicht nur in der Universität, auch in der Freizeit. So können eventuell vorhandene Keime sehr schnell weiter geben werden. Gefährlich wird es, wenn diese bei Menschen ankommen, deren Immunsystem auf irgendeine Weise vorübergehend oder permanent geschwächt ist. Größere Menschenmengen, in denen verschiedene körperliche Verfassungen und auch Hygienebedürfnisse aufeinander treffen, bergen in dieser Hinsicht immer ein Gefahrenpotential.

Kontakt

Christoph Fankhauser
Customer Support Polymer
SANITIZED AG
christoph.fankhauser@sanitized.com

Eileen Sylves von der Universität Buffalo, NY, betreut die Studierenden-Labore für allgemeine und Entwicklungsbiologie. Die Kursteilnehmer untersuchen verschiedene Zelltypen unter dem Mikroskop. Sie erläutert, warum sich der Fachbereich bewusst für das Leica DM750 entschieden hat: „Neben herausragender Optik und Beleuchtung überzeugte uns, dass die Ausbildungsmikroskope von Leica Microsystems leicht zu verstauen und von einem Labor zum anderen zu bewegen sind. Am wichtigsten war uns allerdings die Beschichtung mit AgTreat™. Wir haben bis zu zwölf verschiedene Benutzer pro Mikroskop. Besonders in der Erkältungszeit bietet die Behandlung mit Silberionen unseren Studenten Sicherheit vor der Ansteckung mit Krankheitserregern.“

mesylves@buffalo.edu
<http://www.biologicalsciences.buffalo.edu/>



3D-Visualisierung von Oberflächenstrukturen

Vertikale Auflösung – kleine Schritte, große Wirkung

Daniel Göggel und Georg Schlaffer, Leica Microsystems

Ein digitales Mikroskop zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass es die schnelle und problemlose Erstellung von Oberflächenmodellen makro- und mikroskopischer Strukturen ermöglicht. Diese führen einerseits bei einer qualitativen Bewertung zu einem besseren Verständnis und einer detaillierten Dokumentation der Probe. Andererseits kann durch die Quantifizierung der Oberfläche wertvolle Information zur Oberflächenbeschaffenheit oder deren Verschleiß gewonnen werden. Welche Proben lassen sich mit einem Leica Digitalmikroskop optimal untersuchen? Wo liegen die Grenzen der eingesetzten Methode?

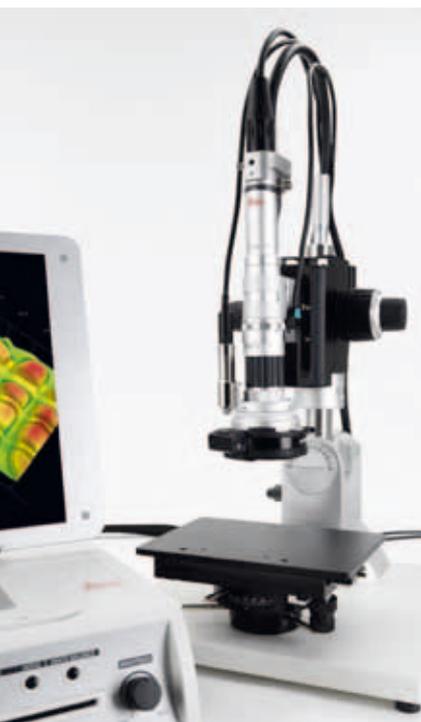


Abb. 1: Das Digitalmikroskop Leica DVM5000 mit flexiblem Kippstativ und drehbarem xy-Tisch erlaubt eine zuverlässige Inspektion und Analyse von seitlichen Probenbereichen oder geneigten Oberflächen.

Die Digitalmikroskope Leica DVM2000 – 5000 nutzen das Prinzip der Fokusvariation, um ein dreidimensionales Bild zu erzeugen. Die begrenzte Schärfentiefe der Optik wird ausgenutzt, um die Tiefeninformation der Probe zu ermitteln. Durch vertikales Verfahren der Probe relativ zum Objektiv wird die Schärfeninformation zusammen mit dem Abstand zur Optik ermittelt. Bei jeder vertikalen Position wird jeweils der scharfe vom unscharfen Bereich des Bildes getrennt und von der Software zu einem Oberflächenmodell verarbeitet. Einer der Vorteile dieses Verfahrens ist, dass zusätzlich zur Höheninformation auch die Textur der Probe dokumentiert wird. Welche Einflussgrößen sind ausschlaggebend für eine erfolgreiche Erstellung eines 3D-Oberflächenmodells und wie beeinflussen diese Größen die laterale und vertikale Auflösung?

Optik

Schärfentiefe ist in der Mikroskopie eine oft empirisch verstandene Messgröße. In der Praxis bestimmen die Zusammenhänge zwischen numerischer Apertur, Auflösung und Vergrößerung diesen Parameter. Moderne Mikroskope erzeugen mit ihren Einstellmöglichkeiten eine für den visuellen Eindruck optimale Balance zwischen Schärfentiefe und Auflösung – zwei Parameter, die sich prinzipiell gegenläufig verhalten.

In DIN/ISO-Normen wird die objektseitige Schärfentiefe definiert als „axiale Tiefe des Raums beidseitig der Objektebene, in dem das Objekt ohne nachweisbaren Schärfeverlust bewegt werden kann, während die Positionen von Bildebene und Objektiv unverändert bleiben“. Wie die Nachweisgrenze des Schärfeverlustes ermittelt werden sollte, dazu liefert die Norm allerdings keinen Hinweis. Insbesondere bei niedrigen Vergrößerungen lässt sich die Schärfentiefe

durch Abblenden, das heißt durch Verkleinern der numerischen Apertur, stark erhöhen. Dies erfolgt üblicherweise mit der Aperturblende bzw. einer Blende, die auf einer konjugierten Ebene zu dieser liegt. Mit geringer werdender numerischer Apertur nimmt aber auch die laterale Auflösung ab. Es gilt, je nach Objektstruktur die optimale Balance zwischen Auflösung und Schärfentiefe zu finden.

Textur der Probe

Die Beschaffenheit der Probenoberfläche umfasst die Gesamtheit der Merkmale und Merkmalswerte der Probe. Es handelt sich hierbei um farbliche sowie Helligkeitsmerkmale der Oberfläche. Das Prinzip der Fokusvariation beruht auf dem eingangs beschrieben methodischen Ansatz. Je besser die Probe in scharfe und unscharfe Bereiche unterteilt werden kann, desto genauer das Oberflächenmodell. Vor allem Texturen, die über einen guten Kontrast verfügen, eignen sich hervorragend für diese Methode. Die Beleuchtung spielt, wie in vielen Anwendungsbereichen der Mikroskopie, auch hier eine wichtige Rolle, da sie über Erfolg oder Misserfolg mitentscheidet. Durch Auswahl einer geeigneten Beleuchtung kann auch eine Probe mit geringer Textur mit diesem Verfahren durch ein Oberflächenmodell dokumentiert werden. Beispielsweise bringt eine Aufsicht-Schrägbeleuchtung auch versteckte Strukturen zum Vorschein.

Mechanische Auflösung in vertikaler Richtung

Der dritte Einflussfaktor ist die mechanische Auflösung in vertikaler Richtung. Unter diesem Begriff versteht man die kleinsten möglichen Schritte in z-Richtung des in der Regel motorisierten Fokustriebs.

Um die Leistungsfähigkeit der Optik auszunutzen, muss der kleinste mögliche Schritt jeweils kleiner als die aktuell genutzte Schärfentiefe sein, da sonst Bildinformationen verloren gehen. Ein motorisierter Fokustrieb mit beispielsweise 10 µm Auflösung ist geeignet bei einer Schärfentiefe von 15 µm.

Die lateralen und vertikalen Auflösungen, die mit einem Leica DVM-System erreicht werden können, hängen von verschiedenen Einflussgrößen wie Oberflächenstruktur oder Beleuchtung ab. Sie müssen daher für jede Anwendung individuell ermittelt werden.

Wie oben beschrieben hängen diese Parameter von verschiedenen Einflussgrößen, wie Oberflächenstruktur oder Beleuchtung ab und sind demzufolge abhängig von der Anwendung zu ermitteln. Durch Interpolation wird eine vertikale Auflösung von der Hälfte der angewendeten Schärfentiefe erreicht. Die laterale Auflösung wird bestimmt durch die numerische Apertur der verwendeten Vergrößerung.

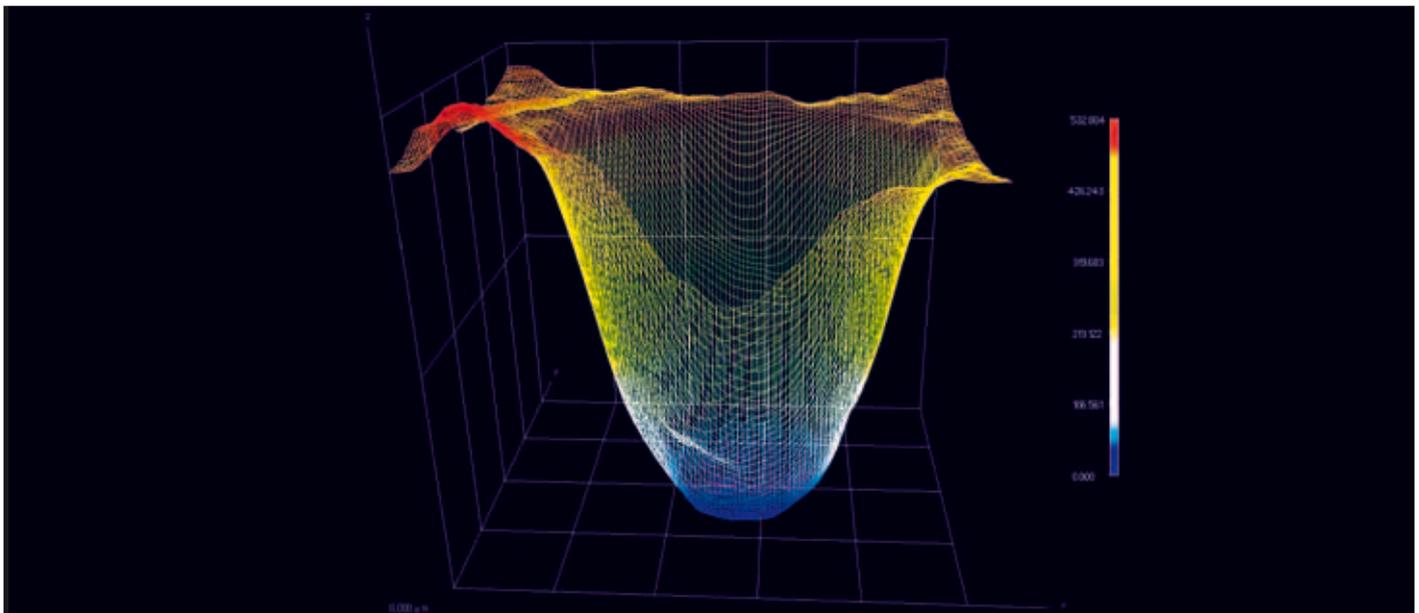
Schärfentiefe - die Berekische Formel

Die älteste Publikation zur visuell empfundenen Schärfentiefe stammt von Max Berek. Bereits 1927 hat er die Resultate seiner umfangreichen Versuche veröffentlicht. Für die visuelle Schärfentiefe liefert die Berekische Formel praxistaugliche Werte und wird deshalb auch heute noch angewendet. In vereinfachter Form lautet sie:

$$T_{\text{VIS}} = n \cdot \left[\frac{\lambda}{2 \cdot \text{NA}^2} + \frac{340 \mu\text{m}}{\text{NA} \cdot M_{\text{TOT VIS}}} \right]$$

- T_{VIS} : visuell empfundene Schärfentiefe
 n : Brechungsindex des Mediums, in dem sich das Objekt befindet. Wird das Objekt bewegt, ist der Brechungsindex des Mediums einzusetzen, das den sich verändernden Arbeitsabstand bildet.
 λ : Wellenlänge des benutzten Lichts, bei Weißlicht ist $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$
 NA : objektseitige numerische Apertur
 $M_{\text{TOT VIS}}$: visuelle Gesamtvergrößerung des Mikroskops

Ersetzt man in der obigen Gleichung die visuelle Gesamtvergrößerung durch die Beziehung der förderlichen Vergrößerung ($M_{\text{TOT VIS}} = 500 \text{ bis } 1000 \cdot \text{NA}$), wird deutlich, dass sich die Schärfentiefe in erster Näherung umgekehrt proportional zur numerischen Apertur im Quadrat verhält.



Maximale vertikale Auflösungen von Leica DVM-Systemen

Zoom	Schärfentiefe bei V_{max}	Vertikale Auflösung
Leica VZ75 C @ 160x	250 µm	125 µm
Leica VZ80 C / Leica VZ80 RC @ 400x	80 µm	40 µm
Leica VZ100 @ 350x (10450392)	420 µm	210 µm
Leica VZ100 @ 700x (10450393)	110 µm	55 µm
Leica VZ100 @ 1400x (10450394)	4 µm	2 µm
Leica VZ100 @ 1400x (10450395)	3 µm	1,5 µm
Leica VZ100 @ 3500x (10450411)	1 µm	500 nm
Leica VZ100 @ 7000x (10450412)	700 nm	350 nm

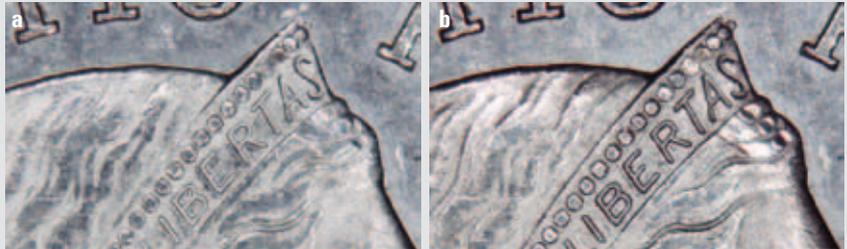
Beleuchtung

Die Auswahl der geeigneten Beleuchtung entscheidet über Erfolg oder Misserfolg der Untersuchung. Die Leica Digitalmikroskope erlauben durch den modularen Aufbau die gewählte Optik jeweils mit einer für die Anwendung optimale Beleuchtung zu kombinieren. Zur Auswahl stehen folgende Verfahren:

Variables schräges Auflicht

Diese Methode ändert die Beleuchtungsrichtung von vertikal zu lateral. Dieser Ansatz eignet sich zur Visualisierung von Kratzern oder kleinen Vertiefungen.

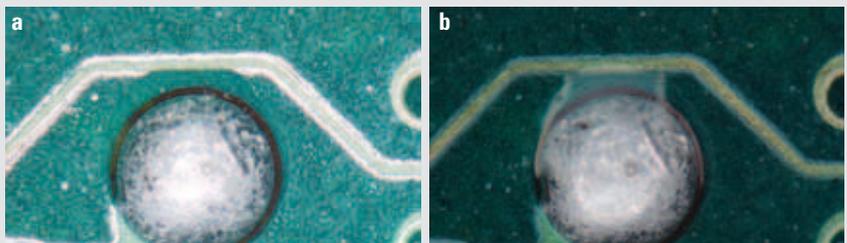
- a Münze in Auflicht
- b Münze in schrägem Auflicht



Diffusor

Bei glänzenden Oberflächen ist oftmals der Dynamikbereich der Kamera unzureichend. Viele Bereiche der Probe sind überstrahlt. Ein Diffusor liefert eine zuverlässige Reduktion des überstrahlten Bereichs.

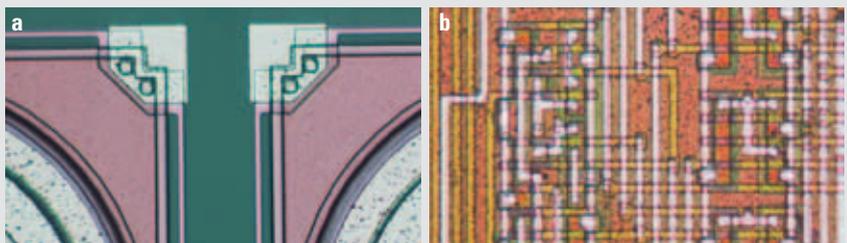
- a Lötstelle ohne Diffusor
- b Lötstelle mit Diffusor



Koaxiale Beleuchtung

Eine koaxiale Beleuchtung wird bei stark glänzenden oder spiegelnden Oberflächen, wie z.B. Wafer oder Metallschliffe, eingesetzt.

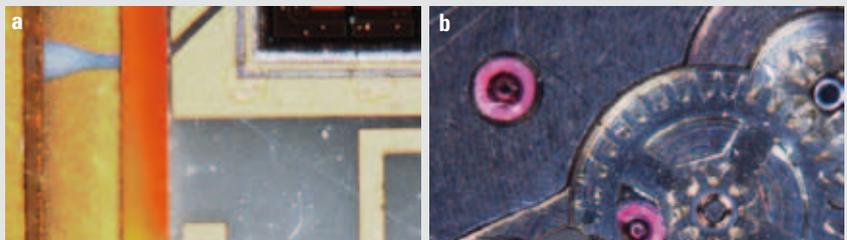
- a, b Halbleiterstrukturen mit Koaxialbeleuchtung



Polarisiertes Licht

Polarisiertes Licht wird verwendet zur Unterdrückung von Reflexen oder Dokumentation von Kunststoffen.

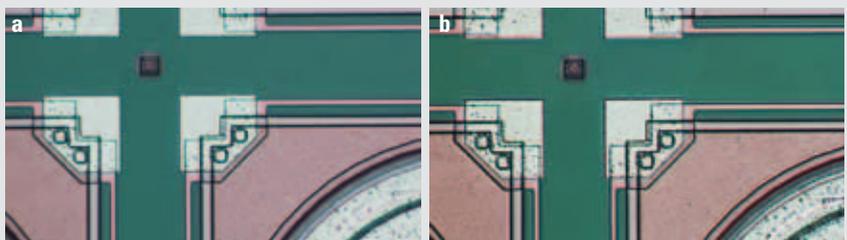
- a Kunststoff mit polarisiertem Licht
- b Uhrwerk mit polarisiertem Licht



Koaxiale Beleuchtung mit gerichtetem Licht

Hier wird durch das gerichtete Licht ein dreidimensionaler Eindruck der Probe erzeugt. Dies ist oftmals hilfreich zur genaueren Bestimmung der Oberfläche.

- a Halbleiterstrukturen mit Koaxialbeleuchtung
- b Halbleiterstrukturen mit gerichteter Koaxialbeleuchtung



Neue Inspektionsmikroskope Leica DM8000 M und DM12000 M

Schneller detektieren!

Stefan Motyka, Leica Microsystems

Die Inspektion, Prozesskontrolle und Fehleranalyse von Wafern oder LCD und TFT muss schnell, sicher und ergonomisch sein. Mit dem Leica DM8000 M und dem Leica DM12000 M bringt Leica Microsystems eine neue Produktlinie für die Inspektion von 8- und 12-Zoll-Wafern auf den Markt. Deren neue optische Funktionen können sowohl das Auflösungsvermögen als auch den Durchsatz steigern.

Für die Detektion von Makro-Defekten verfügen die Inspektionsmikroskope über einen Mikro-/Makro-Modus, der den schnellen Überblick über ein großes Bauteil erlaubt. Mit der Makro-Vergrößerung kann ein Objektfeld von rund 40 mm erfasst werden. Das ist nahezu vier Mal mehr als bei herkömmlichen Übersichtsobjektiven. Mit dem Leica Makro-Modus lassen sich Defekte erkennen, die für herkömmliche Lichtmikroskope unsichtbar sind, beispielsweise eine unzureichende Entwicklung am Rand oder in der Mitte des Wafers. Mit einem einzigen Knopfdruck wechselt der Anwender vom Makro- in den Mikro-Modus, um den Defekt in Dunkelfeld, Hellfeld oder DIC zu untersuchen. Auf einen weiteren Knopfdruck wechselt er in den UV-Modus für noch höhere Auflösung oder in den Oblique UV-Modus (OUV).

Oblique UV-Modus

Der OUV-Modus kombiniert die schräge Beleuchtung mit UV-Licht. Damit betrachtet der Anwender seine Probe in höchster Auflösung aus jeder Perspektive. Das ist besonders hilfreich für die Kanteninspektion bei der Produktion von Wafern, bei der Untersuchung von pyramidenförmigen Strukturen auf Solarelementen oder von Oberflächenstrukturen auf mikroelektronischen Komponenten. Denn die Information über die Topographie hilft, die Struktur besser zu verstehen. Die Inspektionsergebnisse lassen sich in kürzester Zeit verbessern.

Integrierte LED-Beleuchtung

Die Beleuchtung basiert auf modernster LED-Technologie und ist komplett in das Stativ integriert. Weil die Beleuchtung nur wenig Wärme abstrahlt und es kein störendes Lampenhaus gibt, wird der Einfluss des Mikroskops auf die Reinraumumgebung minimiert. Erstmals wird auch für die UV-Beleuchtung LED verwendet. Der Vorteil: Konventionelle ozonhaltige Hochdrucklampen können aus dem Reinraum verbannt werden. Die Power-LEDs haben eine hohe Lebensdauer bei niedrigem Stromverbrauch. Dadurch

entfällt der Lampenwechsel, Standzeiten durch Wartungsarbeiten ebenfalls.

Ergonomie für mehr Qualität

Ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze steigern erwie-senermaßen die Leistungsfähigkeit und die Arbeitsqualität. Beim Leica DM8000 M und DM12000 M lassen sich sowohl Tubus als auch Fokusknöpfe der Körpergröße des jeweiligen Nutzers optimal anpassen. Das beugt Verspannungen in Hand, Arm und Schultern vor und sichert einen komfortablen, ermüdungsfreien Handgriff ohne zusätzliche Armstützen. Sämtliche Bedienelemente sind leicht zu erreichen, so dass beim Umschalten in ein anderes Kontrastverfahren Augen und Hände nicht vom Mikroskop genommen werden müssen.



High-Definition-Bildgebung im Unterricht

Die Welt in HD entdecken

Urs Schmid und Vince Vaccarelli, Leica Microsystems

Das Betrachten, Erfassen, Kommentieren und Archivieren von mikroskopischen Aufnahmen gehört inzwischen zum festen Bestandteil der mikroskopischen Ausbildung im universitären Bereich. Leica High Definition Imaging Systems bieten eine Komplettlösung für ein effizientes Lernen im Mikroskopieunterricht.

Das High-Definition-Signal bietet gegenüber analogen Videosignalen mehr als das Doppelte an Schärfe und Brillanz zusammen mit einer deutlich besseren Farbauflösung. Die Bilder erscheinen klarer und naturgetreuer. Die direkte Erzeugung des Livestream-Bildes innerhalb der Kamera führt zu einer erheblich höheren Übertragungsrate der Live-Bilder.

Eigenständiges Arbeiten an HD-Mikroskopstation

Eileen Sylves ist Laborleiterin an der State University of New York in Buffalo. Ihr Labor ist mit verschiedenen Mikroskopen ausgestattet. Zudem hat sie eine Arbeitsstation mit einem Leica DM750, einer Mikroskopkamera Leica ICC50 HD sowie einem Laptop eingerichtet. Die Studenten des Lehrgangs Entwicklungsbiologie, eines

Aufbaukurses für Fortgeschrittene, die eine Karriere in Life Sciences planen, müssen die Entwicklung von Zebrafischembryonen über Zeit verfolgen und dazu Fotos anfertigen. „Die Mikroskopkamera Leica ICC50 HD liefert hervorragende Farbbilder mit hoher Auflösung. Dazu ist sie sehr leicht zu bedienen: Die Studenten werden dadurch ermutigt, ihre Bilder selbstständig zu bearbeiten“, sagt Sylves.

Je mehr Zeit dem Lehrer für das aktive Unterrichten zur Verfügung steht, desto mehr können die Studenten lernen. Deshalb bietet das Ausbildungsmikroskop Leica DM750 mit integrierter Kamera höchste Auflösung und schnelle Live-Bilder. So können Lehrer und Studenten gemeinsam am Live-Bild auf dem Monitor die Probendetails diskutieren. Selbst wenn der Student die Probe durch die Okulare betrachtet, hat der Lehrer

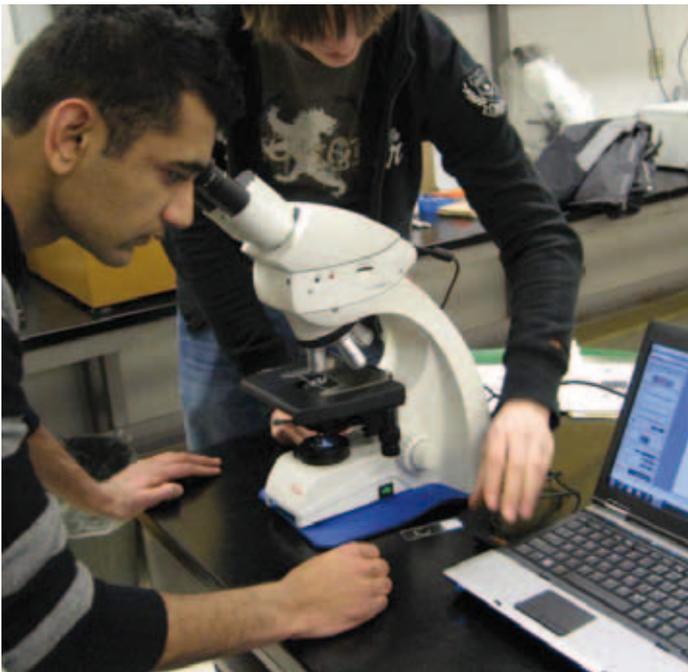


Abb. 1: Arbeiten in Echtzeit dank höchster Auflösung und schneller Live-Bilder: Die Mikroskopkamera Leica ICC50 HD ist für die Studenten der State University of New York ein unverzichtbares Arbeitsmittel.



Abb. 2: Die Arbeitsstation ist mit einem Leica DM750, einer Mikroskopkamera Leica ICC50 HD sowie einem Laptop ausgestattet.

die Möglichkeit, die Arbeit am Bildschirm zu verfolgen. Neben dem Anschluss eines mittlerweile kostengünstigen HD-Monitors ermöglicht das System auch die Verwendung von PC's bis hin zu speziellen Schulungs-Netzwerken.

Perfekt integriert: Hochauflösendes Kameramodul

Das Leica ICC50 HD ist ein schnelles, hochauflösendes Kameramodul, das einfach zwischen dem Beobachtungstubus und dem Mikroskopstativ der Leica DM-Serie adaptiert wird. Es liefert Bilder in einer maximalen Auflösung von 1920x1080 Pixel (Full HD), die entweder auf einem HD-Display angezeigt oder auf einer SD-Karte gespeichert werden können.

Die meisten Funktionen lassen sich direkt an der Kamera oder der optionalen IR-Fernbedienung steuern, so dass ein PC nicht notwendig ist. Mit einem Druck auf einen der beiden Kameratasten werden Kameramodi schnell umgeschaltet, ein Weißabgleich durchgeführt oder das Bild auf einer SD-Karte gespeichert.

Kamerasoftware mit vielen Extras

Leica LAS EZ Software ist eine bedienerfreundliche Kamerasoftware, die mit jeder Leica Mikroskopkamera kostenfrei mitgeliefert wird. Damit können die Studenten Bilder verwalten, erfassen und beschriften, Messungen vornehmen und ihre Projekte dokumentieren. Die neue Version 2.0 bietet auch die Möglichkeit der Freihand-Anmerkungen auf dem Livebild sowie auf dem gespeicherten Bild.

Basisprogramm für Apple-Anwender

Leica Acquire ist eine Bildaufnahme-Software für Mac-OS-Betriebssysteme. Es bietet eine benutzerfreundliche, einheitliche Plattform für Anwendungen in Ausbildung, Industrie und Life Science. Leica Acquire führt den Bediener durch die Kameraeinstellungen und erleichtert die Feinabstimmung, um eine optimale Bildqualität zu erreichen.

Impressum

Herausgeber

Leica Microsystems GmbH
Ernst-Leitz-Straße 17-37
D-35578 Wetzlar (Germany)
www.leica-microsystems.com

Chefredaktion

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

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

Autoren dieser Ausgabe

Ursula Christian
Prof. Dr. Norbert Jost
Daniel Göggel
Dr. Petra Kienle
Stefan Motyka
Kerstin Pingel
Georg Schlaffer
Urs Schmid
Vince Vaccarelli
Janika Wiesner

Layout & Produktion

Uwe Neumann,
Communications & Corporate Identity

Titelbild

Ursula Christian, Hochschule Pforzheim

Printing Date

April 27, 2011

Wollen Sie über neue reSOLUTION Ausgaben informiert werden?

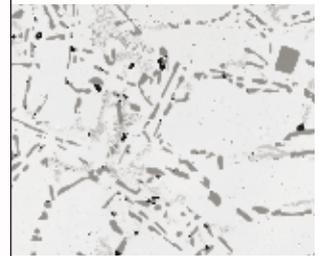
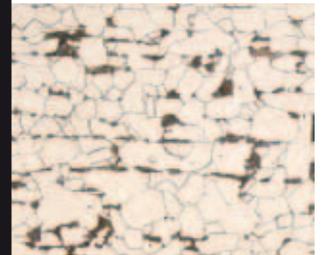
Registrieren Sie sich einfach auf unserer Internetseite und wählen sie aus den unterschiedlichen reSOLUTION Editionen:

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





Ein neues Licht für Ihre Proben!

Leica DM750 M – Perfekt für Materialprüfung, Inspektion und einfache Metallographie im QS-Labor

Die LED-Beleuchtung sorgt für kühles, weißes Licht. Hellfeld, polarisiertes Licht, vier Segmente für Schräglicht und Aperturblende bieten unerreichte Vielseitigkeit. Der intuitiv bedienbare Kreuztisch mit der Aufnahme von selbst-justierenden Probenhaltern von 25 bzw. 30 mm Durchmesser garantiert einfaches Bedienen und schnelle Resultate im Routinelabor.

www.leica-microsystems.com

Living up to Life

Leica
MICROSYSTEMS